జీవం అంటే ఏమిటి?

ఎర్విన్ ష్రోడింగర్

అనువాదం – వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి

అధ్యాయం 1

“జీవం అంటే ఏమిటి?” అనే సమస్య పట్ల సాంప్రదాయక భౌతిక శాస్త్రవేత్త అవలంబించే పద్ధతి

అయస్కాంత క్షేత్రం లేని చోట

అయస్కాంత క్షేత్రం ఉన్న చోట

ఈ చిట్టి పుస్తకం కొన్ని బహిరంగ ప్రసంగాల లోంచి పుట్టింది. ఒక సైద్ధాంతిక భౌతిక శాస్త్రవేత్త నాలుగు వందల మందికి పైగా గల ప్రేక్షక సమూహానికి ఇచ్చిన ఉపన్యాసాలివి. ప్రసంగంలోని అంశం కఠినంగా ఉంటుందని ముందే వారించినా ప్రేక్షకుల సంఖ్య పెద్దగా తగ్గకపోవడం విశేషం. అయితే భౌతిక శాస్త్రవేత్త అమ్ములపొదిలో తరచు ఎదురయ్యే అతి భయంకరమైన గణిత విధానాలు ఈ ఉపన్యాసాలలో ప్రయోగించబడక పోయినా ఈ ఉపన్యాసాలు అంత సులభంగా, సుగమంగా ఉన్నాయని చెప్పడానికి లేదు. ఉపన్యాసాలలో గణితం గుప్పించకపోవడానికి కారణం అందులోని అంశాన్ని వివరించడానికి గణితం అవసరం లేకపోవడం కాదు. ఆ అంశాన్ని వివరించడానికి అవసరమయ్యే గణితం మరీ జటిలం కావడమే అందుకు కారణం. ఈ ప్రసంగాలలో ప్రేక్షకులని కొద్దో గొప్పో ఆకట్టుకున్న అంశం ఒకటి వుంది. జీవశాస్త్రానికి, భౌతిక శాస్త్రానికి సరిహద్దుల మధ్య తారాడే ఒక ప్రగాఢమైన సమస్యని లోతుగా శోధించడమే ఈ ప్రసంగాల లక్ష్యం అని వ్యాఖ్యాత ముందుగానే చాటడంతో అది ప్రేక్షకుల మనసులని బలంగా ఆకట్టుకుంది. ఆ సమస్యని ఇటు భౌతిక శాస్త్రవేత్తకి, అటు జీవశాస్త్రవేత్తకి కూడా మింగుడు పడేలా విడమర్చి చెప్పాలని వ్యాఖ్యాత పూనుకోవడం ఆ రెండు వర్గాలని ఆకర్షించింది. ఈ ప్రసంగాలలో ఎంతో వైవిధ్యంతో కూడుకున్న అంశాలని స్పృశిస్తూ ముందుకి సాగినా, వాటన్నిట్లోను అంతర్లీనంగా ఉన్న లక్ష్యం ఒక మౌలికమైన భావనని స్పష్టతరం

చెయ్యడమే. ఒక ముఖ్యమైన, జటిలమైన సమస్య మీద సముచితమైన వ్యాఖ్యానం చెయ్యడమే. ఈ ప్రయత్నంలో మనం దారి తప్పకుండా ఉండాలంటే మనం అవలంబించే మార్గం ఏంటో ముందుగానే స్పష్టంగా చిత్రించుకోవాలి. మనం చర్చించుకోబోయే విశాలమైన, ముఖ్యమైన ప్రశ్న ఇది – ప్రాణి యొక్క భౌతిక సరిహద్దుల మధ్య, దేశకాలాలలో జరిగే సంఘటలన్నిటిని శాసించే ధర్మాలని భౌతిక, రసాయన ధర్మాల సహాయంతో వర్ణించడమెలా? ఈ చిట్టి పుస్తకం ఆ సమస్యకి ఒక ప్రాథమిక సమాధాన్ని సూచిస్తూ, దాన్ని తగు రీతిలో విపులీకరించి, విడమర్చి బోధిస్తుంది. ఆ సమాధానం యొక్క సారాంశం ఇది – నేటి భౌతిక, రసాయన శాస్త్ర ధర్మాలు జీవక్రియలని వర్ణించలేకపోతున్నాయని చెప్పి అసలు జీవక్రియలని వర్ణించడానికి ఆ శాస్త్రాల తరం కాదని కొట్టిపారేయడం సమంజసం కాదు.

2. గణాంక భౌతిక శాస్త్రం. నిర్మాణంలో మౌలిక భేదం.

గతంలో సాధ్యం కానిది భవిష్యత్తులో సాధ్యం అవుతుందనే ఆశాభావం వ్యక్తం చెయ్యడం కోసం మాత్రమే పైన చెప్పబడ్డ సూచన చేసి వున్నట్లయితే ఆ సూచనకి పెద్ద విలువ లేదని చెప్పాలి. కాని పై తీర్మానానికి మరింత లోతైన అర్థం వుంది. ప్రస్తుతం మనకి తెలిసిన శాస్త్రవిజ్ఞానం జీవక్రియలని పూర్తిగా వివరించడంలో ఎందుకు విఫలం అవుతోందో అందుకు కారణం చెప్పగలము.

గత ముప్పై, నలభై ఏళ్లుగా జీవశాస్త్రవేత్తలు, ముఖ్యంగా జన్యు శాస్త్రవేత్తలు, జీవపదార్థం యొక్క నిర్మాణం గురించి ఎంతో అద్భుతమైన కృషి చేసి లోతుగా అర్థం చేసుకున్నారు. ఆ పరిజ్ఞానం సహాయంతో ప్రాణి యొక్క జీవపదార్థపు సరిహద్దుల మధ్య, దేశకాలలలో

జరిగే సంఘటనలని నేటి భౌతిక, రసాయనిక శాస్త్రాలు ఎందుకు వివరించలేవో చెప్పడానికి వీలవుతుంది.

ప్రాణులలోని కీలక భాగాలలో ఉండే పరమాణువుల అమరికకి, భౌతిక రసాయన శాస్త్రవేత్తలు ఇంతవరకు తమ సైద్ధాంతిక, ప్రయోగాత్మక పరిశోధనలలో చూసిన పరమాణువుల అమరికకి మధ్య ఎంతో మౌలికమైన తేడా వుంది. నేను 'మౌలికం' అంటున్న ఆ తేడా, ఒక్క భౌతికశాస్త్రవేత్తలకి తప్ప, తక్కిన వారికి చాలా అవిశేషంగా అనిపించొచ్చు. ఎందుకంటే భౌతిక, రసాయన ధర్మాలన్నీ సమూలంగా గణాంక ధర్మాలు (statistical laws) అన్న అవగాహన భౌతిక శాస్త్రవేత్తలకి మాత్రమే ఉంటుంది. గణాంత దృక్పథంతో చూసినప్పుడే జీవపదార్థపు కీలక అంశాలలో ఉండే అణువిన్యాసంలో ఎంతో ప్రత్యేకత కనిపిస్తుంది. మనలాంటి భౌతిక, రసాయన శాస్త్రవేత్తలు ఇంతవరకు మన ప్రయోగశాలలో భౌతికంగా పరిశీలించిన పదార్థపు అణువిన్యాసానికి, లేదా మానసికంగా సైద్ధాంతిక లెక్కలలో చూసిన అణునిర్మాణాలకి, దీనికి మధ్య ఎంతో తేడా కనిపిస్తుంది. కాబట్టి అలాంటి ప్రత్యేక విన్యాసాన్ని వ్యక్తం చెయ్యని వ్యవస్థల పరిశీలన లోంచి పుట్టుకొచ్చిన ధర్మాలని, సూత్రాలని, అలాంటి విన్యాసాన్ని వ్యక్తం చేసే వ్యవస్థలకి వర్తింపజేయడం అసంభవం అనిపిస్తుంది.

భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు కాని వారికి ఇందాక పైన నేను పేర్కొన్న 'గణాంక విన్యాసంలో భేదం' అన్న భావనని అర్థం చేసుకోవడం కష్టమవుతుంది. ఆ భావనకి మరి కాస్త రంగులు అద్ది, హంగు కూర్చాలంటే, ముందు మాటగా ఒక విషయం ప్రస్తావిస్తాను. ఆ అంశాన్ని పోగా పోగా మరింత విపులంగా చర్చించుకుందాము. జీవ కణంలో అతి కీలక అంశం అయిన క్రోమోజోమ్ తీగ ఒక అనావర్తక స్ఫటిక (aperiodic crystal). కాగా ఇంతవరకు మనం భౌతిక శాస్త్రంలో అధ్యయనం చేసిన స్ఫటికలన్నీ ఆవర్తక స్ఫటికలే (periodic crystals). సామాన్య భౌతిక శాస్త్ర దృష్టిలో ఈ ఆవర్తక స్ఫటిక్కలే ఎంతో విశేషమైన, సంక్లిష్టమైన

వస్తువులు. జీవరహిత పదార్థంలో కెల్లా అత్యంత ఆశ్చర్యకరమైన, సంక్లిష్టమైన ఆ వస్తువులు భౌతిక శాస్త్రవేత్త అవగాహని, ప్రతిభని సవాలు చేస్తాయి. కాని జీవపదార్థంలో కనిపించే అనావర్తక స్ఫటికల ముందు జీవరహిత పదార్థంలో కనిపించే ఈ ఆవర్తక స్ఫటికలు వెలవెల బోతాయి. ఒకే చిత్రం పదే పదే గోడ అంతా ఆవృత్తి చెందే ఓ మామూలు వాల్ పేపరు కి, పేలవమైన ఆవృత్తి లేకుండా అద్భుత వైవిధ్యంతో, అసమాన వర్ణవిన్యాసంతో, చెప్పరాని రసాస్వాదాన్ని అందించే రఫాయెల్ లాంటి మహాకళాకారుడి కళాసృష్టికి మధ్య తేడా లాంటిదే ఇదీను.

ఆవర్తక స్ఫటికాలు భౌతిక శాస్త్ర పరిశోధన మొత్తంలో అత్యంత సంక్లిష్టమైన వస్తువులు అనడంలో నేను ఒక సగటు భౌతిక శాస్త్రవేత్తని మనసులో పెట్టుకున్నాను. మరింత సంక్లిష్టమైన అణువులని పరిశోధించే కర్బన రసాయన శాస్త్రం (organic chemistry) అనావర్తక స్ఫటికకి ఎంతో దగ్గరగా వచ్చింది. నా దృష్టిలో ఈ అనావర్తక స్ఫటిలే జీవశక్తికి భౌతిక ఉపాధులు. అందుకే జీవసమస్యకి సంబంధించి కర్బన రసాయన శాస్త్రవేత్తలు ఇప్పటికే ఎన్నో గొప్ప ఫలితాలు సాధించినా కూడా, భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు పెద్దగా ఏమీ సాధించలేకపోయారు అన్న విషయం అంతగా ఆశ్చర్యం కలిగించదు.

3. ఈ సమస్య పట్ల సామాన్య భౌతిక శాస్త్రవేత్త అవలంబించే విధానం

మన చర్చలో మూల భావనని, చరమ లక్ష్యాన్ని ఆ విధంగా నిర్వచించాక, చర్చ సాగే తీరు గురించి కొంత విన్నవిస్తాను. 'జీవ పదార్థం గురించి సామాన్య భౌతిక శాస్త్రవేత్త యొక్క

భావనల' గురించి ముందుగా కొంచెం వివరిస్తాను. భౌతిక శాస్త్రం యొక్క గణాంక పునాదుల గురించి తెలిసిన భౌతిక శాస్త్రవేత్త ప్రాణుల ప్రవర్తన గురించి, క్రియల గురించి ఆలోచించడం మొదలెడతాడు. ఆ సమస్యని ఛేదించడానికి తన రంగంలో లభ్యమయ్యే సుపరిచిత, సర్వసామాన్య విధానాలని ఎలా ప్రయోగించాలా అని ఆలోచిస్తాడు. ఆ విధంగా ముందుకు అడుగేస్తాడు. తన సైద్ధాంతిక ఊహలని, జీవలోకపు వాస్తవాలతో పోల్చుకోవడం అతడి మొదటి మెట్టు అవుతుంది. అప్పుడు తనకి అర్థమయ్యే మొట్టమొదటి విషయం ఏమిటంటే తన విధానాలు మంచివే అయినా, సమస్యకి వర్తింపజేయాలంటే వాటిని తగినంతగా సవరించాలి. అలా ముందికి సాగితే సరైన దృక్పథం మనకి వశపడుతుంది. లేదా ప్రస్తుతం నేను కాస్త వినమ్రంగా సరైనది అని సూచించే దృక్పథాన్ని మనం చేరుకుంటాం. నేను చెప్పేది సరైనదని రేపు తేలినా కూడా, నేను సూచించే మార్గమే అన్నిటికన్నా శ్రేష్ఠమైనదని, సరళమైనదని ప్రస్తుతం నేను చెప్పలేను. మంచైనా, చెడైనా నేను సూచిస్తున్న మార్గం ఇది. ఆ 'సామాన్య భౌతికశాస్త్రవేత్త'ని నేనే. లక్ష్యాన్ని చేరుకోడానికి ప్రస్తుతం నేను ఎంచుకున్న వికటమైన, విడ్డూరమైన మార్గం కన్నా మేలైన మార్గం ఉందేమో మరి నాకు తెలీదు.

4. పరమాణువులు ఎందుకంత చిన్నవి?

మన 'సామాన్య భౌతిక శాస్త్రవేత్త' భావనలని విపులీకరించే ప్రయత్నంలో మొదటి మెట్టుగా ఈ విడ్డూరమైన ప్రశ్నతో మొదలుపెడదాం. 'పరమాణువులు ఎందుకంత చిన్నవి?' పరమాణువులు మరి నిజంగానే చిన్నవి. మనం రోజువారీ జీవితంలో వాడే ప్రతీ వస్తువులోను కోకొల్లలుగా పరమాణువులు ఉంటాయి. ఈ సత్యాన్ని తేటతెల్లం

చెయ్యడానికి ఎన్నో ఉపమానాలని ఉపయోగిస్తారు. వాటన్నిట్లోకి లార్డ్ కెల్విన్ వాడిన ఉదాహరణ అద్భుతంగా ఉంటుంది – "ఒక గ్లాసుడు నీళ్లలోని పరమాణువులు అన్నిటి మీద గుర్తులు పెట్టి, ఆ నీళ్లని సముద్రంలో పారబోసి, అలా పోసిన నీరు సప్తసముద్రాల జలాలలో సమంగా వ్యాపించేలా బాగా కలియబెట్టి, అప్పుడు ఆ సముద్రం లోంచి ఎక్కడి నుంచైనా ఒక గ్లాసుడు నీరు పైకి తీసి పరిశీలిస్తే, అందులో మీరు మొదట గుర్తుపెట్టిన పరమాణువులు కనీసం వంద అయినా ఉంటాయి.

పరమాణువుల అసలు పరిమాణాలు పసుపు పచ్చ కాంతి తరంగ దైర్ఘ్యంలో 1/5000 నుండి 1/2000 భాగం వరకు ఉంటాయి. ఇలాంటి పోలిక లోని ప్రాముఖ్యత ఏమిటంటే తరంగ దైర్ఘ్యాన్ని బట్టి సూక్ష్మదర్శినిలో చూసినప్పుడు గుర్తుపట్టగలిగే అతి చిన్న రేణువు యొక్క పరిమాణాన్ని నిర్ణయించగలము. కాబట్టి అంత చిన్న రేణువులో కూడా కొన్ని వేల లక్షల పరమాణువులు ఉంటాయన్న మాట.

ఇప్పుడు మన ప్రశ్నకి మళ్లీ వద్దాం – పరమాణువులు ఎందుకంత చిన్నవి?

ఈ ప్రశ్న తప్పుదారి పట్టిస్తున్నట్టుగా ఉంది. ఎందుకంటే ప్రశ్నలోని ముఖ్యోద్దేశం పరమాణువుల పరిమాణం తెలుసుకోవడం కాదు. నిజానికి ఈ ప్రశ్న ప్రాణుల పరిమాణానికి సంబంధించినది. మన శరీరాల పరిమాణాలకి సంబంధించినది. మనం సామాన్య జీవనంలో వాడే మీటరు, గజం మొదలైన పొడవుకి సంబంధించిన ప్రమాణాల కన్నా పరమాణువులు నిజంగా చాలా చిన్నవి. పరమాణు భౌతిక శాస్త్రం (atomic physics) లో ఆంగ్ స్ట్రాం (Angstrom) అనే ప్రమాణం వాడులో వుంది. ఇది మీటర్ లో 10^{10} భాగం. దశాంస పద్ధతిలో వ్యక్తం చేస్తే ఇలా ఉంటుంది – 0.0000000001 మీటర్.

పరమాణువుల వ్యాసాలు 1 – 2 ఆంగ్ స్ట్రాం ల మధ్య ఉంటాయి. మనం సామాన్య వ్యవహారాలలో వాడే పొడవు ప్రమాణాలు మన శరీరాల పరిమాణాలతో సరితూగుతాయి.

ఇంగ్లీష్ లో yard (ఇది గజానికి సన్నిహితమైనది) అనే ప్రమాణం యొక్క పుట్టుపుర్వోత్తరాలకి సంబంధించి ఓ తమాషా కథ వుంది. ఓ బ్రిటిష్ రాజుని అతడి సభాసదులు 'దూరాలు కొలవడానికి ఏ కొలబద్ధ వాడమంటారు మహారాజా?' అని అడిగారట. అప్పుడా రాజు ఠక్కున తన చెయ్యి పక్కకి చాచి, "ఇదుగో! నా వేళ్ల అంచుల నుండి నా ఛాతీ మధ్య వరకు దూరాన్ని కొలమానంగా వాడేసేయండి సరిపోతుంది!" అన్నాట్ట. ఈ కథ ఎంత వరకు నిజమే తెలీదు గాని మన అవసరాలకి సరిగ్గా సరిపోతుంది. రాజు కనుక మరి సహజంగా తన శరీరంతో పోల్చదగ్గ ప్రమాణాన్నే ఎంచుకుంటాడు. మరే ఇతర ప్రమాణం అయినా తనకి నచ్చదు. ఆంగ్ స్ట్రామ్ అంటే ప్రత్యేక మక్కువ గల భౌతిక శాస్త్రవేత్తకి తన కొత్త సూటు కోసం ఆరున్నర గజాల బట్ట కన్నా 65 బిలియన్ల ఆంగ్ స్ట్రామ్ ల బట్ట కావాలని చెప్పవలసి ఉంటుంది.

కాబట్టి మన ప్రశ్న నిజానికి ఈ రెండు పొడవులకి – శరీరం పొడవు, పరమాణువు వ్యాసం - మధ్య నిష్పత్తికి సంబంధించిన ప్రశ్న. ఇప్పుడు ఆ ప్రశ్నకి మరో విధంగా కూడా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు – "పరమాణువులతో పోల్చితే మన శరీరాలు అంత పెద్దగా ఎందుకు ఉండాలి?"

భౌతిక, రసాయన శాస్త్రాలు బాగా తెలిసిన వారు మన శరీరంలోని ఇంద్రియాల యొక్క ఒక లక్షణాన్ని ఒక విధమైన అవలక్షణంగా పరిగణిస్తారు. (కళ్లు, చెవులు మొదలైన) మన ఇంద్రియాలు కూడా శరీరంలో గణనీయమైన పరిమాణాన్ని కలిగి ఉంటాయి. ఒక్కొక్క దాంట్లోను పెద్ద సంఖ్యలో పరమాణువులు ఉంటాయి. కాబట్టి వాటి మీద ప్రత్యేక

పరమాణువుల ప్రభావం పెద్దగా ఉండదు. మరో రకంగా అనుకోవాలంటే ప్రత్యేక పరమాణువులని మనం వినలేం, తాకలేం, చూడలేం, వాసన చూడలేం. ఆ కారణం చేత పరమాణువులకి సంబంధించిన మన సిద్ధాంతాలని నేరుగా ఇంద్రియాలని ఉపయోగించే చేసే పరిశీలనల సహాయంతో నిర్ధారణ చెయ్యలేం. ఇలా ఎందుకు ఉండాలి? ఇలాంటి పరిస్థితి ఏర్పడడానికి ఏదైనా లోతైన కారణం వుందా? దీని వెనుక దాగి వున్న మూల సూత్రం ఏదైనా వుందా? ఆ మూల సూత్రం సహాయంతో ప్రకృతి ధర్మాలతో మరి దేనికీ ఎందుకు పొత్తు కుదరదో అర్థం చేసుకోడానికి వీలవుతుందా? ఒక మంచి వార్త ఏమిటంటే ఈ ప్రశ్నలకి భౌతిక శాస్త్రవేత్తల వద్ద సమాధానాలు పూర్తిగా ఉన్నాయి. వీటన్నిటికి సమాధానాలు 'అవును' అనే చెప్పాల్సి ఉంటుంది.

5. కచ్చితమైన భౌతిక శాస్త్ర నియమాలు జీవక్రియలకి ఆధారం కావాలి

పైన చెప్పుకున్నట్టుగా వాస్తవాలు లేకపోయుంటే ఒక్క పరమాణువు, లేదా కొద్ది పాటి పరమాణువులు మన ఇంద్రియాల మీద కచ్చితమైన ముద్ర వేయగలగాలి. అప్పుడిక జీవితం ఎలా ఉంటుందో ఒక్క సారి ఆలోచించండి! ఇక్కడ ఒక విషయాన్ని ప్రత్యేకంగా చెప్పుకోవాలి. అలాంటి లక్షణం గల జీవిలో చింతన క్రమబద్ధంగా వికాసం చెందుతూ, చివరికి పరమాణువుకి చెందిన భావనని చేరుకోలేదని ఇంచుమించు కచ్చితంగా చెప్పొచ్చు. ఇంద్రియాల ప్రస్తావనతో మన చర్చ మొదలుపెట్టినా, ఈ కింది ఇవ్వబడ్డ వాదనలన్నీ మెదడుకి, ఐంద్రియ వ్యవస్థకి మాత్రమే కాక మొత్తం శరీరం అంతటికీ వర్తిస్తాయి. అయితే మనలో మనకి అత్యంత విలువైనవిగా తోచేవి ఆలోచనలు,

అనుభూతులు, ఐంద్రియ సంవేదనలు. ఆలోచనకి, ఐంద్రియ సంవేదనకి ఆధారభూతమైన జీవక్రియలతో పోల్చితే శరీరంలో తక్కిన జీవక్రియలన్నీ తక్కువ ప్రాముఖ్యత గలిగినవేనని చెప్పాలి. జీవశాస్త్రం మీద ఆధారపడ్డ వస్తుగత దృష్టితో చూసినప్పుడు ఎలా ఉన్నా, వ్యక్తిగత దృష్టితో చూసినప్పుడు మాత్రం అలాగే తోచుతుంది. అనుభూతులు, ఐంద్రియ సంవేదనలు మొదలైన ఆత్మాశ్రయ సంఘటనలకి ఆధారభూతమైన భౌతిక, జీవరసాయన క్రియలు ఎలాంటివో తెలుసుకోగోరే శోధనలో ఈ చర్చ ఎంతో ఉపయోగపడుతుంది. నన్నడిగితే ఆత్మాశ్రయమైన అనుభూతులకి, వస్తుగతమైన భౌతిక, జీవ, రసాయన క్రియలకి మధ్య సంబంధం వైజ్ఞానిక పరిధికే కాక, అసలు మానవ అవగాహనా సీమలకే అందదు అంటాను.

కాబట్టి ఇప్పుడు మరో ప్రశ్న వేసుకోవచ్చు. ఐంద్రియ వ్యవస్థతో కూడుకున్న మన మెదడు లాంటి అవయవంలో జరిగే భౌతిక చర్యల పర్యవసానంగా, వాటికి సమాంతరంగా భావచలనాలు ఎందుకు పుడుతున్నాయి? ఆ విధంగా ఎంతో పరిణతి చెందిన ఆ అవయవంలో, బాహ్య ప్రపంచం నుండి వచ్చే తాకిళ్లకి సంపూర్ణంగానైనా, పాక్షికంగానైనా సునిశితంగా స్పందించే ఆ అవయవంలో, ఏకైక అణువుల ప్రభావానికి స్పందించే యంత్రాంగం లేకపోవడానికి కారణం ఏమిటి? దానికి కారణం ఇది. దేనినైతే మనం ఆలోచన అంటున్నామో 1) అందులో ఒక క్రమం వుంది. 2) అదే విధంగా ఆలోచనతో సంబంధం వున్న అనుభూతులు, ఐంద్రియ సంవేదనలలో కూడా ఒక విధమైన క్రమం వుంది. ఇందుకు రెండు పర్యవసానాలు ఉన్నాయి.

మొదటిది, ఆలోచనతో సన్నిహిత సంబంధం గల దేహాంగంలో, అంటే మన మెదడులో, అత్యంత క్రమబద్ధమైన అంతరంగ నిర్మాణం ఉండాలి. అంటే అందులో జరిగే సంఘటనలు చాలా కచ్చితంగా భౌతిక ధర్మాలని అనుసరించాలి. రెండవది, బాహ్య ప్రపంచం నుండి వచ్చే తాకిళ్ల వల్ల, గొప్ప క్రమబద్ధత గల ఆ అంగంలో వచ్చే పరిణామాలే ఆలోచనకి

ఆధారం కావాలి. కాబట్టి మన వ్యవస్థకి, ఇతరుల వ్యవస్థలకి మధ్య జరిగే అంతశ్చర్యలు కూడా మరి న్యాయంగా భౌతిక క్రమబద్ధత కలిగి ఉండాలి. అంటే అవి కూడా ఎంతో కచ్చితమైన భౌతిక నియమాలచేత పాలించబడాలి.

6. భౌతిక ధర్మాలు పరమాణు గణాంకాల మీద ఆధారపడతాయి – కనుక అవి ఉజ్జాయింపు ధర్మాలు మాత్రమే

మధ్యస్థ సంఖ్యలో పరమాణువులు కలిగి, కాసిన్ని పరమాణువులకే స్పందించగల ప్రాణిలో పై లక్షణాలన్నీ (ఐంద్రియ సంవేదనలు, ఆలోచనలు మొదలైనవి) ఎందుకు ఉండవు? ఎందుకంటే పరమాణువులు అన్నీ నిరంతరం క్రమరహితమైన, ఉష్ణసంబంధిత చలనాలనే ప్రదర్శిస్తూ ఉంటాయని, కాబట్టి కాసిన్ని పరమాణువులు మాత్రమే గల వ్యవస్థలో అలాంటి క్రమరహిత ప్రవర్తనకి విరుద్ధంగా క్రమబద్ధమైన ప్రవర్తన పుట్టదని మనకి తెలుసు. బృహత్తర సంఖ్యలో పరమాణువులు గల వ్యవస్థలలో మాత్రమే, గణాంక సూత్రాలు పని చేస్తూ, ఆ పరమాణు సందోహాల ప్రవర్తని ఎంతో కచ్చితంగా నిర్దేశిస్తూ ఉంటాయి. పరమాణువుల సంఖ్య పెరుగుతున్న కొలది ఆ పరమాణు సందోహాల ప్రవర్తనని మరింత నిర్దిష్టంగా నియంత్రించడానికి వీలవుతుంది. ఆ విధంగానే ఎంతో క్రమబద్ధమైన ప్రవర్తన ఏర్పడుతుంది. ప్రాణుల జీవితాలలో ఎంతో కీలక పాత్ర పోషించే భౌతిక, రసాయన ధర్మాలన్నీ ఈ విధంగా గణాంక ధర్మాలే. తక్కువ సంఖ్యలో పరమాణువులు గల వ్యవస్థలలో ఎలాగో క్రమబద్ధతని, నియమబద్ధతని సాధించినా, అది కేవలం తాత్కాలికమే అవుతుంది. పరమాణువుల స్థాయిలో నిరంతరం సాగే ఉష్ణచలనాలు ఆ క్రమబద్ధతని ఇంతలోనే నాశనం చేస్తాయి.

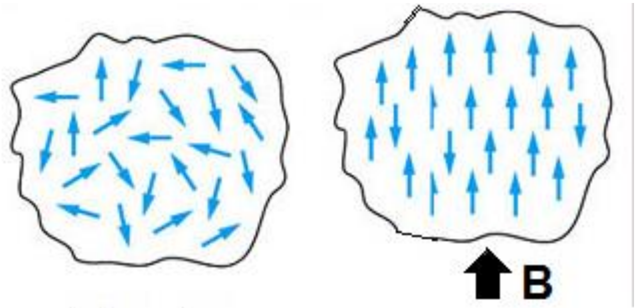
7. బృహత్తర స్థాయిలో పరమాణువులు ఉండడం వాటి నిర్దిష్ట ప్రవర్తనకి అవసరం.

మొదటి ఉదాహరణ – paramagnetism

ఇందుకు కొన్ని ఉదాహరణలు పేర్కొంటాను. కొన్ని వేల సంగతులలో అలవోకగా కొన్ని ఉదాహరణలు ఎంచుకున్నాను. శాస్త్రరంగంలో ఇవి చాలా ప్రాథమికమైన విషయాలు. జీవశాస్త్రంలో జీవశరీరాలు కణాలతో కూర్చబడతాయన్నది ఎంత ప్రాథమికమో, ఖగోళశాస్త్రంలో న్యూటన్ గతినియమాలు ఎంత ప్రాథమికమో, గణితంలో సంఖ్యా శ్రేణి ఎంత ప్రాథమికమో ఇదీ అంతే. నేను ఇక్కడ ప్రాథమికం అంటున్న విషయాలు 'గణాంక ఉష్ణగతి శాస్త్రం' (statistical themodynamics) అనే రంగానికి చెందినవి. లుడ్విగ్ బోల్ట్జ్ మన్, విలార్డ్ గిబ్స్ మొదలైన మహామహులు పునాదులు వేసిన మహత్తర రంగం ఇది. కాబట్టి అలాంటి రంగం గురించి ఈ కాసిన్ని పేజీలలో సమగ్రమైన అవగాహన పొందుపరచబడుతుందని పాఠకులు ఆశించడం పొరబాటు. వాటి గురించి విపులంగా చర్చించే పాఠ్యపుస్తకాలు ఎన్నో ఉన్నాయి.

ఒక పొడవాటి క్వార్ట్జ్ (quarz) నాళంలో ఆక్సిజన్ వాయువుని పూరించి, దాన్ని అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచితే, ఆ వాయువు అయస్కాంతిక మవుతుందని మనకి తెలుసు. వాయువు లోని అణువులు చిన్న చిన్న అయస్కాంతాలుగా ప్రవర్తించడం వల్ల, అవి దిక్సూచిలోని ముల్లులా అయస్కాంత క్షేత్రం దిశగా తిరగడమే ఆ అయస్కాంతీకరణకి (magnetization) కారణం. కాని అవన్నీ నిజంగానే అయస్కాంత క్షేత్రానికి సమాంతరంగా తిరుగుతాయని అనుకోకూడదు. అయస్కాంత క్షేత్రపు తీవ్రతని రెండింతలు చేస్తే, వాయువులో పుట్టే అయస్కాంతీకరణ కూడా రెండింతలు అవుతుంది. క్షేత్ర తీవ్రత అలా పెంచుతూ పోతే, అత్యధిక తీవ్రత గల క్షేత్రాల వరకు కూడా, సమ నిష్పత్తిలో

అయస్కాంతీకరణ పెరుగుతూ పోతుంది. శుద్ధ గణాంక నియమానికి ఇదొక చక్కని ఉదాహరణ. అయస్కాంత బల క్షేత్రం నిరంతరం పరమాణువులని తన దిశలో తిప్పుకుంటూ ఉంటే, వాటిలో అంతర్గతంగా సాగే ఉష్ణచలనం వాటిని క్షేత్ర దిశకి దూరంగా తోసివేస్తూ ఉంటుంది. ఆ విధంగా వ్యక్తిగత అణువుల దిశ నిరంతరం మారుతున్నా, సగటు అణువు దిశ క్రమంగా అయస్కాంత క్షేత్రం దిశకి సన్నిహితమౌతూ ఉంటుంది. క్షేత్ర తీవ్రత పెరుగుతున్న కొద్దీ రెండు దిశలకి మధ్య భేదం తగ్గుతూ ఉంటుంది. ఇలాంటి అద్భుతమైన వివరణ ఇచ్చినవాడు ఫ్రెంచ్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త పి. లాంగెవిన్. దాన్ని ఈ విధంగా నిర్ధారించుకోవచ్చు.



అయస్కాంత క్షేత్రం లేని చోట

అయస్కాంత క్షేత్రం ఉన్న చోట

చిత్రం 1: అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావం చేత అణువుల అయాస్కాంతీకరణ

పదార్థంలో మనకి కనిపించే బలహీన అయస్కాంతికతకి కారణం రెండు పరస్పర విరుద్ధ బలాలే (అణువులన్నిటినీ ఒకే దిశలోకి తిప్పే అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావం ఒక పక్క, అణు దిశలని చెల్లాచెదురు చేసే ఉష్ణ చలనాలు మరొక పక్క). అయితే, అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రతని పెంచకుండా, ఉష్ణ చలనాలని తగ్గించి కూడా అయస్కాంతికతని పెంచవచ్చు కదా? ఈ సత్యాన్ని ప్రయోగం నిర్ధారించింది. పదార్థంలో ఏర్పడే అయస్కాంతికత, నిరపేక్ష

ఉష్ణోగ్రత (absolute temperature) కి విలోమానుపాతంగా మారుతుందని ప్రయోగంలో తెలిసింది. దీన్నే క్యూరీ నియమం (Curie’s law) అంటారు.

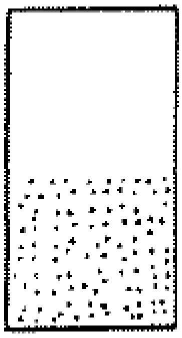
ఆధునిక పరికరాల సహాయంతో ఉష్ణోగ్రతని బాగా తగ్గించి, తద్వార అణువుల ఉష్ణచలనాలని ఎంత మేరకు తగ్గించవచ్చునంటే, ఆ పరిస్థితిలో అయస్కాంత బల క్షేత్రం మరింత సమర్థవంతంగా అణువులని తన దిశలోకి తిప్పుకోగలిగేలా చేసి, ఇంచుమించుగా ‘సంపూర్ణ అయస్కాంతీకరణ’ సాధించవచ్చు. అలాంటి స్థితిలో అయస్కాంత బల క్షేత్రాన్ని రెండింతలు చేసినప్పుడు, అయస్కాంతీకరణ కూడా రెండింతలు కాదు. అయస్కాంత బల క్షేత్రాన్ని పెంచుతున్న కొద్ది అయస్కాంతీకరణలో కలిగే పెరుగుదల ఇంకా ఇంకా తక్కువ అవుతూ వస్తూ ఒక దశలో సంతృప్తం (saturation) అవుతుంది. ఈ పరిణామం కూడా ప్రయోగాత్మకంగా నిర్ధారించబడింది.

అధిక సంఖ్యలో అణువులు సమిష్టిగా సహకరిస్తూ పరిశీలించదగ్గ అయస్కాంతీకరణని సాధించడం వల్లనే మనకీ ప్రవర్తన కనిపిస్తుందన్న విషయం ఇక్కడ గమనించాలి. అణువుల మధ్య అలాంటి సహకార వర్తనమే లేకపోతే అణువుల సగటు దిశ కూడా క్షణక్షణానికి మారుతూ పోతుంది. ఉష్ణచలనాలకి, అయస్కాంత బల క్షేత్రానికి మధ్య జరిగే ఈ పోటీలో ఎవరిదీ పై చేయి కాక, ఫలితం ఎటూ తేలక, అయస్కాంతీకరణలో అడ్డుఅదుపు లేని ఆటుపోట్లు మాత్రమే మనకి దర్శనమిస్తాయి.

8. రెండవ ఉదాహరణ (బ్రౌనియన్ చలనం, విసరణం (diffusion))

ఒక మూసిన గాజు పాత్రలోని అడుగు భాగాన్ని సన్నని నీటి బిందువులు గల ఆవిరితో నింపారు అనుకోండి. అప్పుడు ఆ ఆవిరి ఉన్న ప్రాంతం యొక్క పై సరిహద్దు నెమ్మదిగా ఓ సమమైన వేగంతో కిందకి దిగడం కనిపిస్తుంది. ఆ వేగం గాలి యొక్క స్నిగ్ధత (viscosity)

మీదను, నీటి బొట్ల యొక్క సాంద్రత (specific gravity) మీదను ఆధారపడుతుంది. ఇప్పుడు ఆ బిందువులలో ఒక దాన్ని సూక్ష్మదర్శినిలో నిశితంగా పరిశీలిస్తే, అది సమమైన వేగంతో కదలడంలేదని అర్థమవుతుంది. దాని చలనం గజిబిజిగా ఉండడం కనిపిస్తుంది. అలాంటి చలనాన్నే బ్రౌనియన్ చలనం (Brownian motion) అంటారు. సమిష్టిగా చూసినప్పుడు సగటు చలనం మాత్రమే సమంగా ఉంటుంది. వ్యక్తిగత బిందువుల చలనం సమంగా ఉండదు. అయితే ఆ వ్యక్తిగత బిందువులు పరమాణువులు కావని గుర్తుంచుకోవాలి. కాని ఆ బిందువులు ఎంత చిన్నవిగా, ఎంత తేలిగ్గా ఉంటాయంటే వాటి మీద ఉపరితలం మీద పడే పరమాణువుల సమ్మెట దెబ్బల ప్రభావం వాటి చలనం మీద స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది. వాటి చుట్టూ ఉండే పరమాణువుల పిడిగుద్దుల వల్ల వాటి చలనం గజిబిజిగా ఉంటుంది. సగటు స్థాయిలో మాత్రమే వాటి చలనం గురుత్వాన్ని అనుసరిస్తుంది. మన ఇంద్రియాలు కూడా కొద్ది పాటి పరమాణువుల తాకిడికి స్పందిస్తూ పోతే మన అనుభూతి ఎంత విడ్డూరంగా ఉంటుందో ఈ ఉదాహరణ వల్ల మనకి తెలుస్తోంది.



చిత్రం 2: గురుత్వ ప్రభావం వల్ల కిందికి దిగుతున్న ఆవిరి

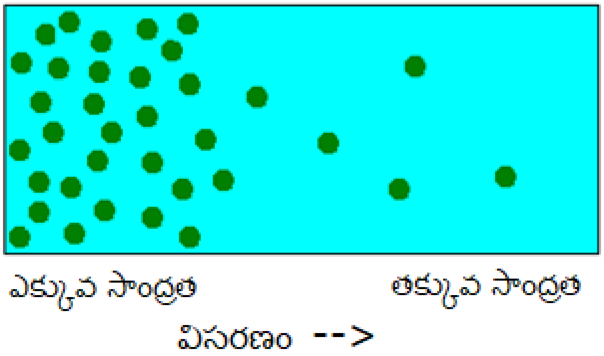
బాక్టీరియా మొదలుకొని కొన్ని సూక్ష్మజీవులు ఈ రకమైన ప్రభావానికి గురి అవుతాయి. వాటి కదలికలు చుట్టూ ఉండే మాధ్యమం యొక్క ఉష్ణ ప్రభావాల మీద ఆధారపడతాయి.

ఆ ప్రభావాలని అవి తప్పించుకోలేవు. స్వతహాగా వాటిలో చలనం ఉంటే అవి బహు కష్టం మీద ఒక చోటి నుండి మరో చోటికి కదలగలవు. లేకపోతే పోటెక్కిన సముద్రం మీద ఎగసిపడే పడవ గతే వాటిదీను.

చిత్రం 3: కిందికి దిగుతున్న బిందువు యొక్క బ్రౌనియన్ చలనం

పైన చెప్పుకున్న బ్రౌనియన్ చలనం లాంటిదే మరో ప్రభావం కూడా వుంది. దాన్నే విసరణం (diffusion) అంటారు. విసరణం అంటే ఎలా ఉంటుందో తెలుసుకోవాలంటే నీటితో నిండిన ఒక పాత్రని ఊహించుకోండి. నీట్లో ఎడమ పక్కన రంగు గల ఏదైనా ద్రవం, పొటాషియం పెర్మాంగనేట్ లాంటిది, కొద్దిగా కలిపినట్టు ఊహించుకోండి. ఇప్పుడు ఆ పాత్రని

కదపకుండా అలాగే కాసేపు విడిచిపెడితే, ఎడమ పక్క విడిచిన రంగు నెమ్మదిగా కుడి పక్కకి కదలడం కనిపిస్తుంది. ఆ విధంగా కాసేపట్లో ఆ రంగు నీటి మొత్తం మీద సమంగా వ్యాపిస్తుంది. అలాంటి వ్యాపనాన్నే విసరణం అంటారు. ఈ సర్వసామాన్యమైన, అవిశేషంగా కనిపించే ప్రభావంలో ఒక ప్రత్యేకత దాగి వుంది. మొదట్లో ఎడమ పక్క పొటాషియం పెర్మాంగనేట్ అణువులు సాంద్రంగా ఉండడం వల్ల, వాటి మధ్య ఉధృతంగా తోపులాటలు జరగడం వల్ల, క్రమంగా అవి ఎడమ భాగం నుండి పైదొలగి కుడి భాగానికి వ్యాపించాయని అనుకుంటున్నారేమో! కాని నిజానికి జరుగుతున్నది అది కాదు. ఒక పెద్ద ప్రాంగణంలో మొదట్లో ఒక మూల జన సమ్మర్దం ఎక్కువగా ఉంటే, వాళ్ల మధ్య జరిగే తోపులాటల వల్ల, కొంత మంది అక్కడి నుండి జనసమ్మర్దం తక్కువగా ఉన్న ప్రాంతానికి జరుగుతారు. అలా కొంత సేపయ్యాక ప్రాంగణం మొత్తం మీద జనం సమంగా వ్యాపిస్తారు. నీట్లో పొటాషియం పెర్మాంగనేట్ అణువుల విషయంలో కూడా అదే జరుగుతోందని ఊహిస్తాం. కాని అది నిజం కాదు. పొటాషియం పెర్మాంగనేట్ అణువులన్నీ ఒకదాంతో ఒకటి సంబంధం లేకుండా కదులుతుంటాయి. వాటిలో వాటి మధ్య అసలు సంపర్కమే ఉండదు.



చిత్రం 4: విసరణం. ఎక్కువ సాంద్రత నుండి తక్కువ సాంద్రత దిశగా పదార్థం వ్యాపించే విధానం.

అవన్నీ కూడా చుట్టూ వున్న నీటి అణువుల తాపులకి గురి అవుతూ, కొన్ని సార్లు పైకి, కొన్ని సార్లు కిందికి, మరి కొన్ని సార్లు ఏటవాలుగా – ఇలా రకరకాలుగా, యాదృచ్ఛికంగా కదులుతూ ఉంటాయి. కళ్లకి గంతలు కట్టుకుని ఓ విశాల తలం మీద దిక్కు తెన్ను తెలియకుండా కదులుతున్న మనిషి నడకలా ఉంటుంది వాటి చలనం. ఆ విధంగా మరి ప్రతీ పెర్మాంగనేట్ అణువు ఒక దాంతో ఒకటి సంబంధం లేకుండా యాదృచ్ఛికంగానే నడుస్తున్నా, అన్నీ సమంగా ఎక్కువ సాంద్రత గల ప్రాంతం నుండి తక్కువ సాంద్రత గల ప్రాంతం దిశగా కదలడం, మొదటి పరిచయంలో చూపరులని తికమక పెడుతుంది.

కాని అది మొదటి పరిచయంలో మాత్రమే. కాస్త సూక్ష్మంగా గమనిస్తే చిక్కు విడిపోతుంది. ద్రవం గల ప్రాంతాన్ని సన్నని స్తరాలుగా చిత్రం 4 లో చూపించినట్టు విభజిద్దాం. ఒక నియత స్తరంలో మాత్రం పెర్మాంగనేట్ సాంద్రత సమంగా ఉంటుందని అనుకుందాం. ఒక స్తరంలో ఉన్న ఒక అణువు సమాన సంభావ్యతతో (probability) కుడి పక్క స్తరంలోకి గాని, ఎడమ పక్క స్తరంలోకి గాని గంతు వెయ్యగలదని అనుకుందాం. నిజానికి ఆ కారణం చేతనే, రెండు స్తరాలని వేరు చేసే తలాన్ని, కుడి పక్క నుండి ఎడమ పక్కకి దాటే అణువుల కన్నా, ఎడమ పక్క నుండి కుడి పక్కకి దాటే అణువుల సంఖ్య ఎక్కువగా ఉంటుంది. దానికి కారణం కుడి వైపున కన్నా ఎడమ వైపున అణువుల సంఖ్య మరింత ఎక్కువగా ఉండడమే. కాబట్టి వ్యక్తిగత అణువులు రెండు పక్కలకి కదులుతున్నా, మొత్తం అణువుల ప్రవాహం మాత్రం ఎడమ నుండి కుడికి సాగుతున్నట్టు కనిపిస్తుంది. నీట్లో పెర్మాంగనేట్ అణువుల సాంద్రత మొత్తం సమంగా మారినంత వరకు ఆ ప్రవాహం అలాగే సాగుతుంది. పై వాదనలన్నీ గణిత రూపంలో వ్యక్తం చేసినప్పుడు, ఒక కచ్చితమైన "విసరణ నియమాన్ని" (Law of Diffusion) సూత్రీకరించగలుగుతాం. ఒక పాక్షిక

అవకలన సమీకరణం (partial differential equation) రూపంలో ఆ నియమాన్ని ఇలా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు.

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D\nabla^2 p$$

పై సమీకరణకి సంబంధించిన వివరాలన్నీ చెప్పి ఇప్పుడు పాఠకులని ఇబ్బంది పెట్టదలచుకోలేదు. అందులోని అంతరార్థాన్ని సామాన్య భాషలో వివరిస్తే చాలు. అయితే అది 'గణితపరంగా కచ్చితమైన' నియమం అని నొక్కి చెప్పడం వెనుక ఒక కారణం వుంది. ఆ సమీకరణాన్ని ప్రయోగించిన ప్రతీ చోట దాని నిర్దుష్టతని సవాలు చేసి, నిర్ధారించే ప్రయత్నం తప్పక చెయ్యాలి. అది యాదృచ్ఛికత మీద ఆధారపడ్డ పరిణామాన్ని వర్ణిస్తోంది కనుక ఎంత లేదన్నా అదొక ఉజ్జాయింపు వివరణ మాత్రమే కాగలదు. అయితే ఆ ఉజ్జాయింపు అసలు వాస్తవానికి చాలా సన్నిహితంగా వస్తుంది. ఎందుకంటే అందులో అసంఖ్యాకమైన అణువులు పాల్గొంటున్నాయి కనుక. అణువుల సంఖ్య చిన్నది అవుతున్న కొలది వాస్తవానికి అంచనాకి మధ్య వారడి పెద్దది అవుతూ ఉంటుంది. కొన్ని అనువైన పరిస్థితుల్లో ఆ వారడి లో వచ్చే ఆటుపోట్లని చక్కగా గమనించొచ్చు.

9. మూడవ ఉదాహరణ - కొలతలో నిర్దుష్టతకి పరిమితులు

నేను ఇవ్వబోయే ఆఖరు ఉదాహరణకి, ఇందాక చెప్పుకున్న రెండవ ఉదాహరణతో దగ్గరి సంబంధం వుంది. ఒక పొడవైన, సన్నని తీగ నుండి వేలాడుతూ, సమతాస్థితిలో ఉన్న ఒక తేలికైన వస్తువును ఎన్నో సందర్భాలలో భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు అతి బలహీనమైన బలాలని కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. దాని మీద పని చేసే విద్యుత్, అయస్కాంతిక, గురుత్వ బలాల ప్రభావం వల్ల ఆ వస్తువు దాని అక్షం మీద కొద్దిగా తిరుగుతుంది. (అలాంటి ప్రయోగంలో సముచితమైన వస్తువును తీసుకుంటేనే సరైన ఫలితాలు వస్తాయి!) ఇలాంటి పరికరం యొక్క నిర్దుష్టతని పెంచడానికి ఎంతో కాలంగా కృషి జరుగుతూ వచ్చింది. దీన్నే 'విమోటన త్రాసు' (torsional balance) అంటారు. అయితే దీని నిర్దుష్టతని పెంచుతూ పోయే ప్రయత్నంలో కొన్ని విచిత్రమైన అవరోధాలు ఏర్పడ్డాయి. వేలాడుతున్న వస్తువుని ఇంకా ఇంకా తేలిగ్గా చేస్తూ పోయారు. అది వేలాడే తీగని ఇంకా ఇంకా సన్నగా, పొడవుగా చేస్తూ పోయారు. అలాంటి పరికరం ఇంకా ఇంకా బలహీనమైన బలాలని గుర్తించగలుగుతుందని ఉద్దేశం. కాని జరిగిన పరిణామం మరొకటి. వేలాడే వస్తువు మరీ తేలిక అయినప్పుడు అది చుట్టూ ఉండే గాలిలోని అణువులు ఉష్ణ చలనం వల్ల తన్నే సున్నితమైన తాపుల ప్రభావానికి కూడా స్పందించడం మొదలెట్టింది! సమతాస్థితిలో కుదురుగా కూర్చోక అణువుల తాకిళ్లకి అటు ఇటు తైతక్కలాడడం మొదలెట్టింది. రెండవ ఉదాహరణలోని నీటి బొట్ల కంపనం లాటిదే ఇదీను. ఈ ప్రవర్తన వల్ల ఇలాంటి త్రాసుతో తీసుకునే కొలతలకి మౌలికమైన పరిమితులు ఏర్పడకపోయినా, కొన్ని వ్యావహారికమైన పరిమితులు ఏర్పడతాయి. ఏ బలహీనమైన బలం యొక్క ప్రభావాన్నయితే మనం కొలవగోరుతున్నామో, ఆ బలం యొక్క ప్రభావం చుట్టూ ఉండే అణువుల ప్రభావంతో పోటీ పడుతుంది. కాబట్టి ఆ బల ప్రభావాన్ని కచ్చితంగా కొలవాలంటే ఒక సారి కొలత తీసుకుంటే సరిపోతు. పెద్ద సంఖ్యలో కొలతలు తీసుకుని, దాని సగటు

విలువని పరిగణించినప్పుడే కొలతలో నిర్దుష్టత పెరుగుతుంది. అప్పుడే బ్రౌనియన్ చలనం వల్ల మన కొలతలో వచ్చే దోషాలని ఉపశమింప జేయగలుగుతాము.

ఈ ఉదాహరణకి మొదట్లో మనం చేపట్టిన చర్చకి మధ్య లోతైన సంబంధం వుంది. మన ఇంద్రియాలు కూడా ఒక రకమైన పరికరాలే, కొలమానాలే. కాబట్టి అవి మరీ సునిశితంగా మారితే ఎలా పనికి రాకుండా పోతాయో సులభంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు.

10. $1/\sqrt{n}$ నియమం

ఇంతవరకు ఇచ్చిన ఉదాహరణలు చాలు. మొత్తం భౌతిక, రసాయన శాస్త్రాలలో ఒక ప్రాణికి, దాని పరిసరాలకి మధ్య జరిగే అంతశ్చర్యలకి, సంబంధించని నియమమే లేదని చెప్పుకోవచ్చు. అలాంటి నియమాలలో ఒక్కొక్క దానిని తీసుకుని విపులంగా చర్చించుకోవచ్చు. అయితే ప్రతీ సందర్భంలోను సారాంశం ఒక్కటే అవుతుంది. కాబట్టి పాఠకులకి కొంచెం బోరు కొట్టొచ్చు. ఏ భౌతిక నియమాన్ని అయినా, వాస్తవానికి వర్తింపజేసినప్పుడు, అందులో ఏ స్థాయిలో నిర్దుష్టత ఉంటుంది అన్న విషయం మీద "పరిమాణాత్మక ప్రకటన" ఒకటి చేస్తాను. దీన్ని $1/\sqrt{n}$ నియమం అని పిలుచుకుందాం. ముందుగా ఓ చిన్న ఉదాహరణతో దీన్ని వ్యక్తం చేస్తాను. తరువాత మరింత సామాన్య రూపాన్ని పరిశీలించొచ్చు. ఒక పెట్టెలో ఒక వాయురాశి వుందనుకుందాం. దాని ఉష్ణోగ్రత, పీడనం విలువలు ఇచ్చినప్పుడు దాని ఘనపరిమాణం విలువ ఫలానా సంఖ్య అవుతుంది అని నేను అంటాను. ఈ సందర్భంలో ఆ వాయురాశిలో ని అణువుల సంఖ్య n అని కూడా పేర్కొంటాను. ఇప్పుడు ఆ వాయు రాశి యొక్క ఘనపరిమాణం గురించి నేను చేసిన అంచనా సరైనదో కాదు మీరు సూటిగా కొలిచి నిర్ధారిస్తారు. నేను అన్నదానికి మీరు కొలిచిన విలువకి మధ్య దోషం కనిపిస్తుంది. ఆ దోషం విలువ $1/\sqrt{n}$ స్థాయిలో ఉంటుంది.

ఉదాహరణకి అణువుల సంఖ్య 100 అయితే దోషం విలువ $1/\sqrt{n}$ = 0.1 = 10%
అవుతుంది. అలాగే n = 1,000,000 అయితే, దోషం విలువ $1/\sqrt{n}$ = 1/1000 = 0.1% అవుతుంది. ఈ రకమైన గణాంక నియమం చాలా సార్వత్రికం అని చెప్పొచ్చు. కాబట్టి భౌతిక శాస్త్రం, భౌతిక రసాయన శాస్త్రాలకి చెందిన నియమాలలోని దోషం $1/\sqrt{n}$ స్థాయిలో ఉంటుంది. ఇక్కడ n విలువ ఆ నియమానికి కారణభూతమైన అణువుల సంఖ్య. దేశకాలాలకి పరిమితమై, ఫలానా ప్రయోగంలో పాల్గొంటూ, ఫలానా నియమాన్ని ఏ అణు రాశి అయితే వ్యక్తం చేస్తోందో ఆ అణువుల సంఖ్య అన్నమాట. కాబట్టి ఒక ప్రాణి కచ్చితమైన నియమాల చేత శాసింపబడాలని అనుకుంటే ఆ ప్రాణికి తగినంత ద్రవ్యరాశి ఉండాలి. దాని అంతరంగ జీవనంలోనే కాక, బాహ్య ప్రపంచంతో అది జరిపే అంతశ్చర్యలలో తగినంత స్థిరత్వం ఉండాలంటే అందుకు తగినంత ద్రవ్యరాశి కలిగి ఉండాలి. ఆ ప్రాణిని కూర్చే అణురాశిలోని అణువుల సంఖ్య మరీ చిన్నదైతే దాన్ని శాసించే ‘నియమం ‘లో కూడా ఎన్నో దోషాలు ఉంటాయి. ఈ సమస్యని మరింత తీవ్రతరం చేసేది వర్గమూలం (square root). 1,000,000 అనేది పెద్ద సంఖ్యే అయినా, 1/1000 దోషం కలిగి ఉన్న దానికి ‘ప్రకృతి ధర్మం’ అనే హోదా ఇవ్వడం కొంచెం కష్టం.

2. అనువంశిక యంత్రాంగం

11. సాంప్రదాయక భౌతికశాస్త్రవేత్తల అవగాహన, అవిశేషమే కాదు, పూర్తిగా తప్పు కూడా

ఇంతవరకు మనం కొనసాగించిన చర్చలో ఒక ముఖ్యమైన నిర్ణయానికి వచ్చాం. ఒక ప్రాణి పొందే జీవానుభవాలు అన్నిట్లోను పెద్ద సంఖ్యలో అణువులు పాల్గొనాలి. ఏకైక అణువులు పాల్గొనే సంఘటనల ప్రభావం వాటి మీద పెద్దగా ఉండకూడదు. ప్రాణులలోని జీవక్రియలు గొప్ప క్రమబద్ధతని కలిగి ఉంటాయి కనుక, వాటిని శాసించే నియమాలలో దోషం అతి తక్కువగా ఉండాలి కనుక, పైన చెప్పుకున్న సత్యం ప్రాణులలో వర్తిస్తూ ఉండాలని సాంప్రదాయక భౌతిక శాస్త్రవేత్త కూడా నమ్మకంగా చెప్పగలడు. అయితే ఈ నిర్ణయానికి, జీవశాస్త్రవాస్తవాలకి మధ్య పొత్తు కుదురుతుందా?

మొదటి చూపులో పైన చేసిన నిర్ణయం స్వయం విదితంగాను, అవిశేషం గాను తోచుతుంది. ఈ సమస్య గురించి ముప్పై ఏళ్ల క్రితం ఒక జీవశాస్త్రవేత్త ఏవని ఉండేవాడంటే – “ఈ సత్యం గురించి, జీవశాస్త్రంలో గణాంక భౌతిక శాస్త్రం యొక్క ప్రాముఖ్యత గురించి, ఒక మామూలు జనరంజక ప్రసంగంలో పేర్కొనడం సబబే కావచ్చు గాని, అదేమంత కొత్త విషయం కాదని, అందరికీ తెలిసిన విషయమేనని” అనేవాడు. మరి ఏదైనా ఉన్నత జీవజాతికి చెందిన ఒక ఎదిగిన జీవిని తీసుకుంటూ, దాని మొత్తం శరీరం స్థాయిలోనే కాక, దాని లోని ఒక కణం స్థాయిలో చూసినా, అందులో ఉండే కణాల సంఖ్య ఆకాశాన్నంటేలా ఉంటుంది. అలాంటి కణంలో గాని, దాని పరిసరాలతో అది జరిపే అంతశ్చర్యలలో గాని, పాల్గొనే పరమాణువుల, పరమాణు క్రియల సంఖ్య ఎంత పెద్దగా ఉంటుందంటే, గణాంక భౌతిక శాస్త్రం విధించే కఠోర నిబంధనలని కూడా అలాంటి వ్యవస్థ తృప్తి పరుస్తూ, దానికి సంబంధించిన భౌతిక, భౌతిక రసాయనిక ధర్మాలని పూర్తిగా సంరక్షిస్తుంది. గణాంక భౌతిక శాస్త్రం విధించే నిబంధనలలో మొదటి నియమమే ఇందాక చెప్పుకున్న $1/\sqrt{n}$ నియమం. ముప్పై ఏళ్ల క్రితం కూడా ఈ విషయాన్ని అందరూ గుర్తించేవారు. కాని నేడు అలాంటి అవగాహన తప్పని మనకి తెలుసు.

నేడు మనం చూస్తున్నాం... అతి చిన్న పరమాణు రాశులు కూడా, గణాంక శాస్త్ర నియమాలని వ్యక్తం చెయ్యలేనంత అత్యల్పమైన పరమాణు రాశులు కూడా, ప్రాణులలో జరిగే అత్యంత క్రమబద్ధమైన, నియమబద్ధమైన ప్రక్రియలలో ఎంతో ముఖ్యమైన పాత్ర పోషిస్తున్నాయి. ప్రాణికి దాని వికాస క్రమంలో సంక్రమించే బృహత్ స్థాయి లక్షణాలని కూడా అవి శాసించగలుగుతున్నాయి. దాని క్రియలకి సంబంధించిన ఎన్నో లక్షణాలని అవి నియంత్రిస్తున్నాయి. ఇలాంటి సందర్భాలలో కూడా జీవశాస్త్ర ధర్మాలు ఎంతో కచ్చితంగా, నిర్దుష్టంగా అనుసరించబడుతున్నాయి.

ఈ సందర్భంలో జీవశాస్త్రంలో, ముఖ్యంగా జన్యు శాస్త్రంలోని పరిస్థితి గురించి ముందుగా క్లుప్తంగా చెప్పాల్సి వుంటుంది. అంటే నాకు సంపూర్ణ పాండిత్యం లేని రంగం మీద వ్యాఖ్యానించే సాహసం చేస్తున్నాను అన్నమాట. కాబట్టి నా ప్రసంగం కాస్త పేలవంగా అనిపిస్తే, లోతు కొరవడినట్టు అనిపిస్తే, దయచేసి క్షమించాలి. ప్రస్తుతం చలామణిలో ఉన్న భావాలని మాత్రం గుడ్డి విశ్వాసంతో మీ ముందు ఉంచుతున్నాను. నా బోటి ఒక బడుగు భౌతిక శాస్త్రవేత్త సువిస్తారమైన జీవశాస్త్ర జ్ఞానభాండారాన్ని మీ ముందు కుదురుగా రాశిపోయగలడని ఆశించడం భావ్యం కాదు. అద్భుతంగా నిర్వహించబడ్డ 'పెంపకం' (breeding) ప్రయోగాల శ్రేణులు ఒక పక్క, ఆధునిక సూక్ష్మదర్శక సాంకేతిక పరిజ్ఞానం సహాయంతో జరుపబడ్డ జీవకణ పరిశీలనలు మరొక పక్క – ఇవీ నేటి జీవశాస్త్రంలో కలికితురాయిలు. వీటన్నిటి సారాంశాన్ని సంక్షిప్తంగా మీ ముందు ఉంచే సాహసానికి పూనుకుంటున్నాను.

12. అనువంశిక గుప్తసంకేత-పత్రం (Heriditary code-script)

ప్రాణి యొక్క అనురూపం (pattern) అన్న పదాన్ని ఇక్కడ పరిచయం చేస్తున్నాను. జీవశాస్త్రవేత్త 'చతుర్మితీయ అనురూపం' అనే పదజాలాన్ని వాడుతాడు. ఆ అర్థంలోనే ఇక్కడ నేను క్లుప్తంగా అనురూపం అనే పదాన్ని వాడుతాను. 'చతుర్మితీయ అనురూపం' (four dimensional pattern) అన్నప్పుడు ప్రాణికి పొడవు, వెడల్పు, ఎత్తు అనే మూడు మితులే (dimensions) కాక, ఫలదీకృత అండం స్థాయి నుండి ఎదిగిన దేహం వరకు, కాలానుగతంగా జరిగే దాని జీవవికాస క్రమాన్ని (ontogenic development) కూడా ఒక మితిగా స్వీకరిస్తున్నాము అన్న మాట. ఈ మొత్తం చతుర్మితీయ అనురూపం ఒక్క కణం మీద – అదే ఫలదీకృత అండం – ఆధారపడి వుంటుంది. అంతే కాదు. ఆ కణంలో కూడా అది ఒక చిన్న అంశం మీద, దాని కేంద్రకం (nucleus) మీద ఆధారపడి వుంటుంది. కణం యొక్క సామాన్య 'విరామ స్థితి' (resting state) లో ఈ కేంద్రం కణం అంతా విస్తరించి వున్న క్రొమాటిన్ (chromatin) యొక్క జాలంలా కనిపిస్తుంది. కాని కణ విభజనలో జరిగే కీలక ప్రక్రియలలో (అవే మైటాసిస్, మియాసిస్ లు) మాత్రం అవన్నీ కొన్ని రేణువుల సమూహాలుగా కనిపిస్తాయి. ఆ రేణువులు సామాన్యంగా తీగల లాగానో, కడ్డీల లాగానో కనిపిస్తాయి. వీటినే క్రోమోజోమ్ లు (chromosomes) అంటారు. వాటి సంఖ్య 8, 12, 46 ఇలా ఉంటాయి. మనిషిలో ఇవి 46 ఉంటాయి. మరింత కచ్చితంగా చెప్పుకోవాలంటే ఈ సంఖ్యలని 2X4, 2X6, 2X23 ఇలా వ్యక్తం చెయ్యాల్సి ఉంటుంది. జీవశాస్త్రవేత్తలు వాడే పరిభాషనే వాడాలంటే క్రోమోజోమ్ లు జతలుగా వస్తాయని చెప్పుకోవాలి. వ్యక్తిగత క్రోమోజోమ్ లలో ఆకారం లోను, పరిమాణం లోను ఎంతో వైవిధ్యం కనిపించినా, ఈ రెండు క్రోమోజోమ్ ల కూటములు ఇంచుమించు సర్వసమానంగా ఉంటాయి. వీటిలో ఒక కూటమి తల్లి నుండి (అండకణం) రెండవ కూటమి తండ్రి నుండి (ఫలదీకరించే శుక్రకణం) వస్తుంది. ఈ క్రోమోజోమ్ లోనే, లేదా మరింత కచ్చితంగా చెప్పాలంటే మనం

సూక్ష్మదర్శినిలో చూసి క్రోమోజోమ్ అని పిలుచుకునే దాని యొక్క అక్షపంజరంలోని (axial skeleton) తీగలోనే, వ్యక్తి యొక్క జీవవికాస క్రమాన్ని, ఎదిగిన దశలో తన క్రియలని, శాసించే సందేశపత్రం దాగి వుందని అనిపిస్తోంది. రెండు క్రోమోజోమ్ ల కూటములలో ఒక్కొక్క దాంట్లో పూర్తి సందేశావళి ఉంటుంది. కాబట్టి ఎప్పుడూ కూడా ఫలదీకృత అండ కణంలో రెండు క్రోమోజోమ్ ల కూటములు ఉంటాయి. ఆ అండకణమే భవిష్యత్తులో ఆవిర్భవించబోయే ప్రాణి యొక్క మొట్టమొదటి రూపం అవుతుంది.

క్రోమోజోమ్ తీగల అంతరంగ నిర్మాణాన్ని ఒక 'గుప్తసందేశ పత్రం' గా వర్ణించడంలో నా ఉద్దేశం ఇది. గణితవేత్త లప్లాస్ ఒకప్పుడు ఒక 'సర్వజ్ఞమైన మనస్సు' ని ఊహించాడు. అలాంటి మనసుకి విశ్వంలోని కార్యకారణ సంబంధాలన్నీ చెప్పకనే తెలుస్తాయట. అలాంటి మనసు ఒకటి ఉందని అనుకుంటే, ఆ మనసు క్రోమోజోమ్ ల అంతరంగ నిర్మాణాన్ని చూసి, దాన్ని బట్టి ఆ అండకణం నుండి పుట్టిన ప్రాణి నల్ల కోడిపుంజు అవుతుందా, మచ్చలున్న కోడి పెట్టి అవుతుందా, ముసిరే ఈగ అవుతుందా, మొక్క జొన్న అవుతుందా, మందారం అవుతుందా, పురుగు అవుతుందా, ఎలుక అవుతుందా, ఎలనాగ అవుతుందా ఎలాగో కనిపెట్టి చెప్పగలుగుతుంది. ఈ సందర్భంలో మనం వెంటనే చెప్పుకోవాల్సిన నిజం ఏమిటంటే అండ కణాల రూపురేఖలలో పెద్దగా తేడాలు ఉండవు. అలా లేకపోయినా కూడా, ఉదాహరణకి పక్షులు, సరీసృపాలు (పాములు మొదలైన పాకే జంతువులు) మొదలైన వాటి గుడ్లనే తీసుకుంటే, తేడా అంతా అందులో ఉండే క్రోమోజోమ్ పదార్థంలో కన్నా చుట్టూ ఉండే పోషక పదార్థంలోనే వస్తుంది. అయితే గుప్తసందేశ పత్రం అనే పదజాలం కాస్త సంకుచిత అర్థాన్నే వ్యక్తం చేస్తోంది. క్రోమోజోమ్ లు జీవవికాస క్రమానికి చెందిన సమాచారాన్ని తమ అంతరంగ నిర్మాణంలో పొందుపరుచుకోవడమే కాదు, ఆ వికాస క్రమం వ్యక్తం అయ్యే ప్రయత్నంలో ఎంతో సక్రియమైన పాత్ర పోషిస్తాయి. వాటిలో చట్టనియమావళి మాత్రమే కాదు, శాసన శక్తి కూడా దాగి వుంది. మరో

ఉపమానాన్ని తీసుకోవాలంటే నిర్మాణ ప్రణాళిక మాత్రమే కాదు, నిర్మాణ కౌశలం కూడా వాటిలోనే వుంది.

13. కణవిభజన చేత దేహవృద్ధి (mitosis)

జీవవికాస క్రమంలో క్రోమోజోమ్ ల పాత్ర ఎటువంటిది? పదే పదే జరిగే కణవిభజనల వల్ల ప్రాణి దేహం ఎదుగుతుంది. అలాంటి విభజననే మైటాసిస్ (mitosis) అంటారు. దేహంలో ఉండే కణాల సంఖ్య ఎంత పెద్దదో ఒక సారి తలచుకుంటే, ఒక కణం యొక్క జీవితంలో కణ విభజన మనం ఊహించినంత తరచుగా ఏమీ జరగదు. తొలి దశలలో వృద్ధి చాలా వేగంగా సాగుతుంది. అండ కణం రెండు కుమారీ కణాలు (daughter cells) గా విభజన చెందుతుంది. ఆ రెండు నాలుగు అవుతాయి. తరువాత వరుసగా 8, 16, 32, 64... ఇలా కణాల సంఖ్య పెరుగుతూ వస్తుంది. ఎదుగుతున్న శరీరంలో అన్ని భాగాలలోను కణ విభజన వేగం ఒకేలా ఉండదు. కాబట్టి ఈ అంకెల క్రమం ఉల్లంఘించబడుతుంది. కాని అవి పెరిగే వేగాన్ని పరిగణిస్తే, పరిపూర్ణ దేహంలో ఉండేటన్ని కణాలు ఏర్పడాలంటే 50-60 కణ విభజనలు అవసరం అని సులభంగా లెక్క కట్టొచ్చు. జీవిత కాలంలో జరిగే కణాల వినియమాన్ని కూడా పరిగణిస్తే అంతకు పది రెట్ల సంఖ్యని తీసుకోవాలి. అంటే నా దేహంలో ఇప్పుడు ఉండే కణం, నా దేహం యొక్క ప్రప్రథమ స్థితిలో ఉండే కణానికి 50 అవ, లేదా 60 అవ 'వంశాంకురం' అన్న మాట.

14. మైటాసిస్ లో ప్రతీ క్రోమోజోమ్ ద్విగుణించ బడుతుంది

మైటాసిస్ లో క్రోమోజోమ్ లు ఎలా ప్రవర్తిస్తాయి? అవి ద్విగుణించబడతాయి. వాటిలోని రెండు కూటములు ద్విగుణించబడతాయి. ఈ ప్రక్రియని సూక్ష్మదర్శినులలో చాలా క్షుణ్ణంగా అధ్యయనం చేయడం జరిగింది. అందులో ఎన్నో వివరాలు ఉన్నాయి. వాటన్నిటిని ఇక్కడ వర్ణించడం సాధ్యం కాదు. ఇక్కడ ముఖ్యమైన విషయం ఏమిటంటే కణవిభజన జరిగినప్పుడు రెండు 'కుమారీ కణాల'కి రెండు పూర్తి క్రోమోజోమ్ కూటములు 'అరణం' గా ప్రాప్తిస్తాయి. ఈ కూటములు తల్లి కణంలో ఉండే క్రోమోజోమ్ కూటములకి సరిసమానంగా ఉంటాయి. కాబట్టి వాటిలో ఉండే క్రోమోజోమ్ పెన్నిధి పరంగా చూస్తే దేహ కణాలన్నీ సరిసమానం.

ప్రతీ దేహ కణంలోను, అదెంత అముఖ్యమైనది అయినా సరే, అందులో పూర్తి 'గుప్తసందేశ పత్రాల' రెండు ప్రతులు ఉండడంలో ఏదో విశేషం వుందని అనిపిస్తుంది. ఆ విశేషం ఏమీటో ప్రస్తుతం మనకి అర్థం కాకపోవచ్చు. ఈ మధ్యనే వార్తాపత్రికలలో ఒక ఆసక్తికరమైన వార్త చదివాను. ఆఫ్రికా యుద్ధాలకి సేనాపతి అయిన మాంట్గోమెరో తన యుద్ధ వ్యూహాల గురించి తన సైన్యంలో ప్రతీ సైనికుడికి క్షుణ్ణంగా తెలియాలని ఆజ్ఞ జారీ చేశాడట. అది నిజమేనని అనుకుంటే (అతడి సైన్యం ఎంత సమర్ధవంతంగా, తెలివిగా నడచుకుంటుందో ఒకసారి గమనిస్తే అది నిజమేనని నమ్మాలి) దాన్ని మన ప్రస్తుత సందర్భానికి ఉపమానంగా వాడుకోవచ్చు. అయితే ప్రతీ మైటాటిక్ విభజన లోను రెండు ప్రతుల క్రోమోజోమ్ లు ఉండేలా విభజన జరగడం కాస్త ఆశ్చర్యం కలిగిస్తుంది. అసలు జన్యు యంత్రాంగం లోనే ఇదొక ముఖ్య లక్షణం. అయితే ఈ లక్షణానికి ఓ ముఖ్యమైన మినహాయింపు కూడా వుంది. ఆ సంగతే ఇప్పుడు చర్చించుకుందాం.

15. క్షయకర విభజన – మియాసిస్, ఫలదీకరణ (syngamy)

ప్రాణి పరిపక్వాన్ని చేరుకున్నాక ఆ పని కోసమే కేటాయించబడ్డ ఒక ప్రత్యేక కణజాలం gametes అనే కణజాలాన్ని ఉత్పత్తి చేసే కార్యాన్ని చేపడతాయి. ఈ 'బీజకణాలు' లేక 'గమీట్లు' రెండు రకాలు - (పురుషులలో) శుక్రకణాలు, (స్త్రీలలో) అండకణాలు. ఆ పని కోసమే కేటాయించబడ్డ కణజాలం అని ఎందుకు అంటున్నానంటే అవి మధ్యంతర కాలంలో వేరే ఇతర పనులేవీ చెయ్యవి. వాటిలో మైటాటిక్ విభజనలు కూడా చాలా తక్కువగా జరుగుతాయి. ఆ కేటాయింబవడ్డ కణజాలం నుండి, పక్వదశలో, గమీట్లు ఉత్పన్నం అవుతాయి. ఈ ఉత్పత్తి syngamy జరగడానికి కొంచెం ముందు జరుగుతుంది. మియాసిస్ లో జంటగా ఉండే రెండు క్రోమోజోమ్ ల కూటముల నుండి రెండు వేరు వేరు కూటములు పుడతాయి. కణ విభజనలో పుట్టిన రెండు కుమారీకణాలకి చెరొక క్రోమోజోమ్ కూటమి సంక్రమిస్తుంది. మరో విధంగా చెప్పాలంటే మైటాసిస్ లో జరిగే క్రోమోజోమ్ ల ద్విగుణీకరణ మియాసిస్ లో జరగదు. అంటే ప్రతీ గమీట్ కి సంపూర్ణ 'గుప్తసందేశ పత్రం'లో సగభాగం మాత్రమే అందుతుంది. కాబట్టి మానవ గమీట్ల లో 23 క్రోమోజోమ్ లు మాత్రమే ఉంటాయి, 23 x 2 = 46 కావు. ఆ విధంగా ఒకే క్రోమోజోమ్ కూటమిని కలిగిన కణాలని haploid కణాలు అంటారు. దేహకణాలలో మూడు, నాలుగు... పలు క్రోమోజోమ్ కూటములు కూడా కలిగిన వ్యక్తులు అరుదుగా పుడుతుంటారు. అలాంటి వారిని వరుసగా triploid, tetraploid, ... polyploid అంటారు. లైంగిక సంపర్కం జరిగినప్పుడు పురుషులలోని బీజకణం అయిన శుక్రకణం, స్త్రీలలో బీజకణం అయిన అండకణం రెండూ

(రెండూ haploid కణాలే) కలిసి diploid కణమైన ఫలదీకృత అండకణం ఏర్పడుతుంది. దాని క్రోమోజోమ్ కూటములలో ఒకటి తండ్రి నుండి మరొకటి తల్లి నుండి వస్తుంది.

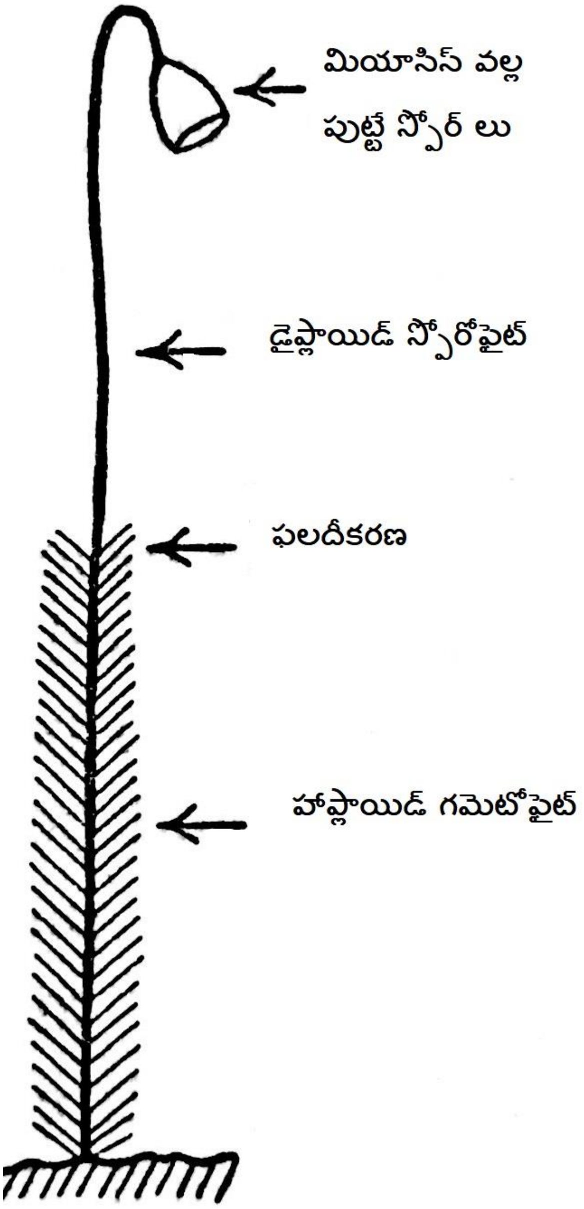
16. Haploid వ్యక్తులు

ఇందాక ప్రస్తావించిన మరొక్క విషయానికి చిన్న సవరణ అవసరం. మన లక్ష్యానికి అది పూర్తిగా అవవరం అనను గాని, అది చాలా ముఖ్యమైన విషయం. అనురూపానికి సంబంధించి ఇంచుమించు పూర్తి గుప్తసందేశ పత్రం ప్రతీ క్రోమోసోమ్ కూటమిలోను దాగి వుంటుందని అది నిరూపిస్తుంది.

కొన్ని జంతువుల్లో మియాసిస్ తరువాత ఫలదీకరణ జరగదు. అలాంటి సందర్భాలలో హాప్లాయిడ్ కణం (బీజకణం) మళ్లీ మళ్లీ మైటాటిక్ పద్ధతిలో కణవిభజన చెందుతూ పూర్తిగా హాప్లాయిడ్ ప్రాణిని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. మగ తేనెటీగ (drone) విషయంలో సరిగ్గా అదే జరుగుతుంది. అది రాణి తేనెటీగ యొక్క ఫలదీకృతం కాని, అంటే హాప్లాయిడ్ అండకణాల నుండి parthenogenetic గా పుడుతుంది. అంటే మగతేనెటీగకి తండ్రి లేడన్నమాట! దాని దేహకణాలన్నీ హాప్లాయిడ్ కణాలే! ఒక విధంగా చెప్పాలంటే దాన్ని బృహద్ స్థాయి శుక్రకణంగా వ్యవహరించవచ్చు! నిజానికి అలాంటి బాధ్యత నిర్వర్తించడమే దాని జీవనపరమార్థం అని చెప్పుకోవచ్చు. అయితే అలా అనుకోవడం కాస్త విపరీతంగా అనిపించవచ్చు.

అయితే మగ తేనెటీగ విషయం ప్రత్యేకం కాదు. హాప్లాయిడ్ బీజకణం నుండి మియాసిస్ పద్ధతిలో ఎదిగే మొక్కల జాతులు ఎన్నో ఉన్నాయి. అలా పుట్టిన బీజకణాలు (వీటిని స్పోర్స్ అంటారు) నేల మీద పడి విత్తుల్లా కొత్త మొక్కలని పుట్టిస్తాయి. ఈ పద్ధతిలో కూడా మామూలు డైప్లాయిడ్ మొక్కల అంత పెద్ద హాప్లాయిడ్ మొక్కలు పుట్టగలవు. చిత్రం

***లో అడవుల్లో సర్వసామాన్యంగా కనిపించే మాస్ (moss) కనిపిస్తోంది. ఇందులో పత్రయుతమైన అడుగుభాగం హాప్లాయిడ్ మొక్క. దీన్ని gametophyte అంటారు. ఎందుకంటే దీని పై కొస వద్ద ఇది లైంగిక అవయవాలని, బీజకణాలని ఉత్పత్తిచేస్తుంది. అవి ఒకదాన్నొకటి ఫలదీకరించుకుంటూ సాధారణ పద్ధతిలో డైప్లాయిడ్ మొక్కని పుట్టిస్తాయి. అదే చిత్రంలో పైన బొడిపెను కలిగిన కాడ. ఇలాంటి మొక్కని స్పోరోఫైట్ (sporophyte) అంటారు. ఎందుకంటే అది మియాసిస్ పద్ధతిలో, పై కొసన ఉన్న బొడిపెలో స్పోర్ లని పుట్టిస్తుంది. బొడిపె విచ్చుకున్నప్పుడు అందులోని స్పోర్ లు కింద నేల మీద పడతాయి. వాటిలో నుండి మళ్లీ ఆకులు గల కాడ మొదలైన విశేషాలు గల కొత్త మొక్క పుడుతుంది. ఈ ఘటనల క్రమానికే చాలా సమంజసంగా తరాల ఏకాంతర క్రియ (alternations of generation) అని పేరు పెట్టారు. కావాలంటే సామాన్య ప్రాణులని, అంటే మనిషిని జంతువులని కూడా, అదే దృక్పథంతో చూడొచ్చు. అయితే ఈ ప్రాణులలో గమెటోఫైట్ స్వల్పకాలికంగానే బతుకుతుంది. శుక్రకణంగా గాని, అండకణంగా గాని అది ఏకకణజీవి స్థాయిలోనే ఆగిపోతుంది. మన శరీరాన్ని స్పోఫోఫైట్ గా చెప్పుకోవచ్చు. ఇక 'స్పోర్' లు అంటే ఏ కణాల లోనుండి అయితే మియాసిస్ చేత ఏకకణజీవుల తరం పుడుతుందో ఆ కణాలు అన్నమాట.



చిత్రం 5: స్పోర్ లలో తరాల ఏకాంతర క్రియ.

17. క్షయకర విభజన యొక్క అసామాన్య ప్రాముఖ్యత

వ్యక్తి యొక్క పునరుత్పత్తి క్రమంలో అత్యంత కీలకమైన ఘటన ఫలదీకరణ కాదు – అది మియాసిస్. ఒక క్రమోజోమ్ ల కూటమి తల్లి నుండి వస్తే, రెండవది తండ్రి నుండి వస్తుంది. యదృచ్ఛ గాని, భవితవ్యం గాని ఆ పరిణామానికి అడ్డుపడలేదు. ప్రతి మనిషి

విషయంలోను, అతడి[1] అనువంశికతకి మూలం సగం తల్లిలో ఉంటే, సగం తండ్రిలో ఉంటుంది. అయితే రెండిట్లో ఏదో ఒక లక్షణాంశమే (trait) నిలుస్తుంది. అలా జరగడానికి కారణాలని వేరే చోట చర్చిస్తాను. (అసలు అలాంటి ఏకపక్ష పరిణామానికి లింగమే అతి సామాన్యమైన తార్కాణం.)

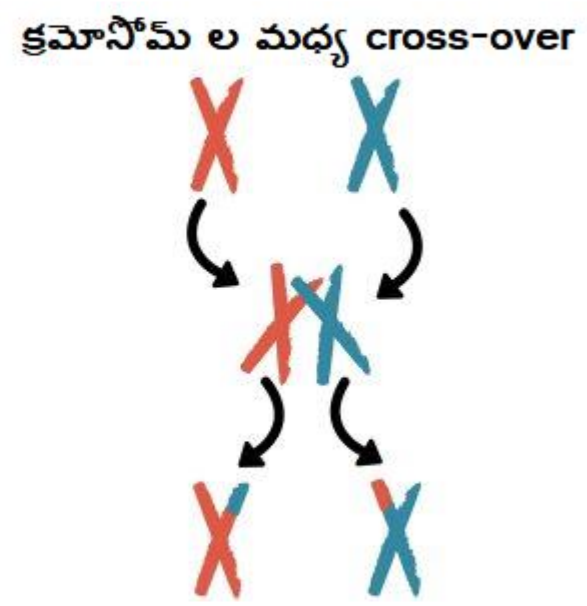
కాని మీ అనువంశికతకి మూలాలని మీ తాతల తరంలో వెతుక్కున్నప్పుడు పరిస్థితి వేరుగా ఉంటుంది. ఉదాహరణకి నా తండ్రి వైపు నుండి వచ్చిన క్రోమోసోమ్ ల మీద ముఖ్యంగా 5 సంఖ్య క్రోమోసోమ్ మీద, కాసేపు దృష్టి పెడతాను. నా తండ్రికి తన తండ్రి నుండి సంక్రమించిన 5 సంఖ్య క్రోమోసోమ్ కి గాని, తల్లి నుండి సంక్రమించిన 5 సంఖ్య క్రోమోసోమ్ కి గాని అది కచ్చితమైన ప్రతిరూపం. నా తండ్రికి కలుగబోయే సంతానం మగశిశువా, ఆడశిశువా అన్న నిర్ణయం 1886 లో నవెంబరు నెలలో నా తండ్రి శరీరంలో పుట్టిన శుక్రకణాలలో జరిగే మియాసిస్ ప్రక్రియను బట్టి 50:50 సంభావ్యతతో తేల్చబడుతుంది. ఇదే కథనం నా తండ్రి నుండి వచ్చిన అన్ని క్రోమోసోమ్ ల విషయంలోను (1, 2, 3, … 24 వరకు) జరిగి ఉండాలి. సరిగ్గే అదే వ్యవహారం నా తల్లి నుండి వచ్చిన క్రోమోసోమ్ ల విషయంలో కూడా జరిగి ఉండాలి. అంతే కాకుండా ఆ 48 నిర్ణయాలు పూర్తిగా వేరువేరుగా, ఒక దాని మీద మరొకటి ఆధారపడకుండా, జరుగుతాయి. నా తండ్రి వైపు నుండి వచ్చిన 5 సంఖ్య క్రోమోసోమ్ మా తాతయ్య జోసెఫ్ ష్రోడింగర్ నుండి వచ్చినదని రూఢిగా తెలిసినా, 7 సంఖ్య క్రోమోసోమ్ మాత్రం తాతయ్య నుండి అయినా కావచ్చు, లేదా అతడి భార్య (మా బామ్మ) మారీ నే బోన్యర్ నుండి అయినా కావచ్చు. ఆ సంభావ్యత సరిసమానం.

[1] ప్రతీ స్త్రీ విషయంలో కూడా అది వర్తిస్తుందని వేరే చెప్పనక్కర్లేదు. స్థలాభావం వల్ల లైంగిక నిర్ధారణ గురించి, లింగ సంబంధ లక్షణాల (ఉదాహరణకి color blindness) గురించి చర్చ ఇక్కడ వినాయిస్తున్నాను.

18. crossing over. లక్షణాల స్థానం

తాతల తరం నుండి అనువంశికత సంక్రమించే తీరు గురించి పైన వర్ణిస్తున్నప్పుడు వాస్తవం కన్నా కాస్త సరళీకరించడం జరిగింది. వాస్తవం మరికాస్త సంక్లిష్టంగా ఉంటుంది. ఒక క్రోమోసోమ్ మొత్తంగా, అంటే అవిభాజ్యంగా తాత నుండి గాని, బామ్మ నుండి గాని సంక్రమిస్తుందని పైన చెప్పుకున్నాం. కాని అది నిజం కాదు. క్షయకర విభజన చేత వేరుపడక ముందు రెండు సమరూప (homologous) క్రోమోసోమ్

లు ఒకదానికి ఒకటి బాగా దగ్గరిగా వస్తాయి. ఒకదాన్ని ఒకటి పెనవేసుకుంటూ చిత్రం ** లో చూపిస్తున్నట్టు పరస్పరం విభాగాలు మార్చుకుంటాయి. (చిత్రం ** లో చూపించబడ్డ మైక్రోగ్రాఫ్ లో ఈ వాస్తవం మరింత సూక్ష్మంగా ప్రదర్శించబడుతోంది.) క్రోమోసోమ్ ల మధ్య అలా భాగాలు మారే ప్రక్రియనే crossing over అంటారు. ఈ ప్రక్రియ వల్ల ఒక క్రోమోసోమ్ లో రెండు వేరు వేరు భాగాలలో ఉండే అనుబంధిత లక్షణాలు, మనవడిలో వేరుపడిపోతాయి. ఆ కారణం చేత మనవడిలో ఒక లక్షణం తాత నుండి, మరో లక్షణం బామ్మ నుండి వస్తుంది. ఈ crossing over ప్రక్రియ మరీ తరచుగా గాని, మరీ అరుదుగా గాని కాకుండా జరుగుతుంది. ఈ crossing over ప్రక్రియ వల్లనే క్రోమోసోమ్ లలో ఏఏ లక్షణాలు ఎక్కడెక్కడ ఉంటాయి అన్న విషయం మీద ఎంతో విలువైన సమాచారం దొరికింది.



చిత్రం 6: రెండు సమరూప క్రోమోసోమ్ ల మధ్య cross over ద్వార విభాగాల వినిమయం జరిగే ప్రక్రియ

ఈ crossing over అనే ప్రక్రియే లేకపోతే, ఒకే క్రోమోసోమ్ మీద ఉండే రెండు లక్షణాలు ఎప్పుడూ కలిసికట్టుగా తదుపరి తరానికి సంక్రమిస్తాయి. అంటే వాటిలో ఒక లక్షణం సంక్రమించిన వ్యక్తికి తప్పనిసరిగా రెండవ లక్షణం కూడా సంక్రమిస్తుంది అన్నమాట. కాని crossing over వల్ల రెండు లక్షణాలు వేరు పడడానికి 50:50 అవకాశం వుంది. లేదా ఒక సందభంలో అవి తప్పనిసరిగా వేరు పడతాయి కూడా. అది ఎప్పుడు జరుగుతుందంటే, ఒకే పూర్వీకుడిలో సమరూప క్రోమోసోమ్ ల మీద రెండు లక్షణాలూ ఉన్నప్పుడు, కింది తరంలో అవి ఎప్పుడూ కలిసికట్టుగా సంక్రమించవు. రెండిట్లో ఏదో ఒకటే సంక్రమిస్తుంది.

ఒక తరం లక్షణాలు, తదుపరి తరానికి సంక్రమిస్తాయా లేదా, ఎంత సంభావ్యతతో సంక్రమిస్తాయి అనే పరిణామాల మీద crossing over ప్రభావం ఎంతో ఉంటుంది. ఒక తరం నుండి తదుపరి తరానికి లక్షణాల విస్తరణ ఎలా మారుతుంది అన్న ప్రశ్నని తేల్చుకోవడానికి జరిపిన పెంపకపు ప్రయోగాల (breeding experiments) ఎన్నో విషయాలు తెలిశాయి. ఒకే క్రోమోసోమ్ మీద ఉండే రెండు లక్షణాలు దగ్గరి దగ్గరిగా ఉంటే, తదుపరి తరంలో అవి కలిసికట్టుగా వ్యక్తం అయ్యే ఆస్కారం ఎక్కువ అవుతుంది; దూరం దూరంగా ఉంటే ఆ ఆస్కారం తక్కువ అవుతుంది. లక్షణాల మధ్య ఈ సంబంధాన్నే 'సంధానం' (linkage) అంటారు. రెండు లక్షణాలు క్రోమోసోమ్ మీద దగ్గరి దగ్గరిగా ఉన్నప్పుడు crossing over జరిగే సమయంలో, వినియమపు బిందువు రెండు లక్షణాల మధ్య ఉండకపోవచ్చు. అవి దూరంగా క్రోమోసోమ్ కి రెండు కొసల వద్ద ఉంటే, వినియపు బిందువు తప్పనిసరిగా ఆ రెండు లక్షణాల (క్రోమోసోమ్ కొసల) మధ్య ఉండాలి. (అనురూప క్రోమోసోమ్ ల మీద ఉండే లక్షణాల విషయంలో కూడా అదే వర్తిస్తుంది.) ఈ విధంగా లింకేజికి సంబంధించిన గణాంకాల ఆధారంగా వివిధ క్రోమోసోమ్ ల మీద లక్షణాలు ఎక్కడెక్కడ ఉన్నాయో తెలిపే 'మ్యాపు' ని తయారుచెయ్యడానికి వీలవుతుంది.

ఇలాంటి వాదనలు అన్నిటికీ ప్రయోగాత్మక ఆధారాలు దొరికాయి. ఈ విశ్లేషణలన్నీ క్షుణ్ణంగా విభజింపబడ్డ సందర్భాలలో (వాటిలో డ్రోసోఫైలా ఈగ ముఖ్యమైనది) లక్షణాలన్నీ కొన్ని గుంపులుగా విభజింపబడి ఉండడం కనిపించింది. అంతేకాక ఆ గుంపుల సంఖ్య ఆ ప్రాణిలోని క్రోమోసోమ్ ల సంఖ్యతో సమానం కావడం కనిపించింది. (ఉదాహరణకి డ్రోసోఫైలాలో నాలుగు క్రోమోసోమ్ లు ఉంటాయి కనుక దాని లక్షణాలలో నాలుగు గుంపులు ఉన్నాయి). వేరు వేరు క్రోమోసోమ్ ల మీద ఉండే లక్షణాల మధ్య లింకేజి ఉండకపోవడం వల్ల ఇలా గుంపులు ఏర్పడుతున్నాయని గమనించాలి. ప్రతీ గుంపులోను,

అందులోని లక్షణాల మధ్య లింకేజి స్థాయిని గుణాత్మకంగా వ్యక్తం చేసే మ్యాపులు రూపొందించొచ్చు. అలాంటి మ్యాపులు అన్నీ (మామూలు మ్యాపులలా తలం మీద కాక) ఒక రేఖలో ఇమిడి ఉండడం విశేషం. ఆ రేఖాకృతికి, కడ్డీ వంటి క్రోమోసోమ్ ఆకారానికి మధ్య సంబంధం చెప్పకనే తెలుస్తోంది.

అయితే ఇంతవరకు వర్ణించిన 'అనువంశిక యంత్రాంగ ప్రణాళిక' కాస్త కళావిహీనంగా, పేలవంగా, మరీ ప్రాథమికంగా ఉందని చెప్పాలి. ఎందుకంటే లక్షణాలు, లక్షణాలు అంటున్నాం గాని అసలు ఆ లక్షణాలు ఏమిటో ఇంతవరకు నిర్వచించలేదు. అవిభాజ్యంగా, అఖిలఘన రాశిగా కనిపించే ప్రాణి దేహాన్ని, ఆ సమగ్రమైన దేహరచనని కొన్ని వివిక్తమైన (discrete) లక్షణాల సహాయంతో వ్యక్తం చెయ్యడం అసహజంగా, అసమంజసంగా తోచవచ్చు. ఈ సందర్భంలో మేము చెప్పదలచుకున్నది ఇది. ఇద్దరు పూర్వీకుల మధ్య, కచ్చితమైన, సునిర్వచితమైన భేదాలు ఉన్నప్పుడు (ఉదాహరణకి ఒకరికి నీలం కళ్లు, మరొకరికి నల్ల కళ్లు ఉన్నాయనుకోండి), వారి సంతతికి రెండిట్లో ఏదో ఒక లక్షణమే సంక్రమిస్తుంది. ఆ భేదానికి ఆధారం, ఆసనం క్రోమోసోమ్ మీద ఉందని అంటున్నాం. (కాస్త సాంకేతిక పరిభాషలో దాన్ని locus (స్థానం) అని పిలవొచ్చు; ఆ లక్షణానికి ఆధారంగా ఆ స్థానంలో ఉంటుందని ఊహించుకోబడ్డ భౌతిక నిర్మాణాన్ని 'జీన్' (gene) అని పిలుచుకోవచ్చు). నా ఉద్దేశంలో లక్షణం కన్నా, లక్షణాల మధ్య ఉండే కచ్చితమైన భేదమే మరింత మౌలికమైన భావన. లక్షణాల మధ్య భేదాలు వివిక్తంగా (discrete గా) ఉంటాయి. అలా ఎందుకు ఉంటుంది అన్నది ఉత్పరివర్తన (mutation) అనే అద్భుతమైన ప్రక్రియ మీద ఆధారపడుతుంది. ఆ విషయాలన్నీ వచ్చే అధ్యాయంలో చర్చించుకుందాం. అప్పుడు ఇంతవరకు చెప్పుకున్న పేలవమైన ప్రాణాళిక మరింత ఆసక్తికరంగా, సజీవంగా మారుతుందని ఆశిద్దాం.

19. జీన్ యొక్క గరిష్ఠ పరిమాణం

ఒక కచ్చితమైన అనువంశిక లక్షణానికి భౌతికమైన ఉపాధిగా ఒక క్రోమోసోమ్ లో ఒక నిర్మాణం ఉంటుందని ఊహించుకుంటూ ఆ నిర్మాణానికి జీన్ అని పేరు పెట్టాం. ఇప్పుడు మన శోధనకి చాలా దగ్గరి సంబంధం వున్న రెండు అంశాలని పేర్కొంటాను. మొదటిది జీన్ యొక్క పరిమాణానికి, ఇంకా కచ్చితంగా చెప్పాలంటే గరిష్ఠ పరిమాణానికి సంబంధించిన ప్రశ్న. అంటే ఎంత చిన్న ఘనపరిణామంలో జీన్ ని కుదించడానికి వీలవుతుంది? ఇక రెండవది జీన్ యొక్క మన్నికకి సంబంధించిన ప్రశ్న. అనువంశిక విన్యాసం ఎంత కాలం (ఎన్ని తరాలపాటు) మన్నుతుంది అన్న దాని బట్టి జీన్ ల మన్నిక గురించి తెలుసుకోవచ్చు.

పరిమాణం విషయానికి వస్తే రెండు పూర్తిగా ఒకదానితో ఒకటి సంబంధం లేని అంచనాలు ఉన్నాయి. మొదటిది పెంపకపు ప్రయోగాల లో (breeding experiments) బయటపడ్డ జన్యు ఆధారాల నుండి వచ్చినది. రెండవది కణసంబంధ ఆధారాల (మైక్రోస్కోప్ తో చేసిన పరిశీలనలు) నుండి వచ్చినది. మొదటిది అంచనా వెయ్యడం అంత కష్టం కాదు. ఒక క్రోమోసోమ్ మీద ఇన్ని లక్షణాలు ఉన్నట్లయితే, ఒక్కొక్క లక్షణం యొక్క ఘనపరిమాణం అంచనా వెయ్యడానికి మొత్తం క్రోమోసోమ్ పొడవుని ఆ లక్షణాల సంఖ్యతో భాగించి, క్రోమోసోమ్ పరిచ్ఛేద వైశాల్యంతో (crossectional area) గుణిస్తే సరిపోతుంది. అయితే crossing over చేత అప్పుడప్పుడు వేరుపడే లక్షణాలనే మనం విభిన్న లక్షణాలుగా పరిగణిస్తున్నాం. అప్పుడే ఆ రెండు లక్షణాలు ఒకే జీన్ లో నాటుకుని లేవని రూఢి చేసుకోగలం. ఇలాంటి పద్ధతి వాడి చేసిన అంచనా కేవలం గరిష్ఠ అంచా మాత్రమే కగలదు.

ఎందుకంటే ఒక క్రోమోసోమ్ మీద ఇమిడే లక్షణాల సంఖ్య కొత్త పరిశోధనల వల్ల ఎప్పటికప్పుడు పెరుగుతూ పోతోంది.

ఇక సూక్ష్మదర్శినితో చేసే పరిశీలనల మీద ఆధారపడే అంచనా నిజానికి అంత సూటిగా ఉండదు. డ్రోసోఫైలాలో కొన్ని కణాలు (కచ్చితంగా చెప్పాలంటే దాని ఉమ్మి గ్రంథులలోనివి) ఏ కారణం చేతనో మరి అమాంతంగా విస్తరించి ఉంటాయి. దాని క్రోమోసోమ్ లు కూడా మరి అలాగే విస్తరించి ఉంటాయి. వాటిలో క్రోమోసోమ్ తీగ మీదుగా నల్లని అడ్డుచారలు దగ్గరి దగ్గరిగా కనిపిస్తాయి (చిత్రం **). క్రోమోసోమ్ మీద చారల సంఖ్యకి, దాని మీద వ్యక్తమయ్యే లక్షణాల సంఖ్యకి దగ్గరి సంబంధం వుందని సీ.డీ. డార్లింగ్టన్ పేర్కొన్నాడు. అతడు అధ్యయనం చేసిన సందర్భంలో ఆ విలువ 2000. ఇది లక్షణాల సంఖ్యకి సరిసమానం కాకాపోయినా ఆదే స్థాయిలో (order of magnitude) ఉండడం విశేషం. ఆ చారలే జీన్ లు అని, లేదా జీన్ ల మధ్య విభజన రేఖలు అని, అతడు అభిప్రాయపడ్డాడు. సగటు పరిమాణం గల కణంలో, క్రోమోసోమ్ ల పొడవుని దాని మీద కనిపించే చారల సంఖ్యతో విభజించి (అటుపై దాని పరిచ్ఛేద వైశాల్యంతో గుణించి) ఒక జీన్ యొక్క ఘనపరిమాణం విలువ 300 ఘన ఆంగ్ స్ట్రాం లు (1 ఆంగ్ స్ట్రాం = 10^{-10} మీటర్, అని గమనించాలి) అని తేల్చాడు. ఈ అంచనాలు కాస్త మోటుగా ఉన్నాయని గమనించగలరు. కాబట్టి ఇదే అంచనా మొదటి పద్ధతికి కూడా వర్తిస్తుందని ప్రస్తుతానికి సరిపెట్టుకుందాం.)

20. చిన్న సంఖ్యలు

ఇంతవరకు నేను మీ ముందు ఉంచిన వాస్తవాల మీద గణాంక భౌతిక శాస్త్ర ప్రభావం ఎలా ఉంటుంది అన్న విషయాన్ని ముందుముందు లోతుగా చర్చిస్తాను. మరోలా చెప్పాలంటే

జీవకణంలో గణాంక భౌతిక శాస్త్ర వినియోగం ఎంతవరకు సమంజసం అన్న ప్రశ్న గురించి ఇంతవరకు చెప్పుకున్న వాస్తవాలు ఏమంటున్నాయో చర్చిస్తాను. ముందుగా మనం ఒక విషయం గుర్తించాలి. 300 ఆంగ్ స్ట్రాం లు అంటే ద్రవంలో గాని, ఘనపదార్థంలో గాని 100 – 150 పరమాణుదూరాలు అని గమనించాలి. అంటే ఒక జీన్ లో ఒక మిలియన్ గాని, మహా అయితే కొన్ని మిలియన్లు గాని పరమాణువులు ఉంటాయి. గణాంక భౌతిక శాస్త్రం ప్రకారం (ఆ రకంగా చూస్తే మొత్తం భౌతిక శాస్త్రం ప్రకారం) క్రమబద్ధమైన, నియమబద్ధమైన ప్రవర్తన కనిపించాలంటే ఆ సంఖ్య చాలా చిన్నది ($1/\sqrt{n}$ నియమం ప్రకారం) అని అర్థం చేసుకోవాలి. ఒక ద్రవపు బిందువులో గాని, వాయురాశిలో గాని పరమాణువులు ఎలాంటి పాత్ర పోషిస్తున్నాయో, అలాంటి పాత్రనే జీన్ లో కూడా పోషిస్తున్నాయని అనుకున్నా కూడా అది చాలా చిన్న సంఖ్య. అంతే కాక ఒక ద్రవపు బిందువు లగా జీన్ సమజాతీయమైన వస్తువు కాదు. బహుశా అదొక పెద్ద ప్రోటీన్ అణువు అయ్యుంటుంది. అందులో ప్రతీ పరమాణువు, ప్రతీ radical , ప్రతీ heterocyclic ring తమతమ నియత, ప్రత్యేక, వ్యక్తిగత పాత్రలు పోషిస్తూ ఉండివుండాలి. హాల్డేన్, డార్లింగ్టన్ మొదలైన మేటి జన్యుశాస్త్రవేత్తల ఆలోచనా పంథా ఈ విధంగా వుంది. ఆ అభిప్రాయాలని నిరూపించే జన్యు ప్రయోగాల గురించి ముందు ముందు చర్చించుకుందాము.

21. శాశ్వతత్వం

ఇప్పుడు రెండవ అతిముఖ్యమైన ప్రశ్న మీదకి దృష్టి సారిద్దాం. అనువంశిక లక్షణాలలో ఏ స్థాయిలో మనం శాశ్వతత్వాన్ని చూస్తున్నాం? మరి ఆ స్థాయిలో బాహ్యలక్షణాలలో శాశ్వతత్వం కనిపించాలంటే, అందుకు ఆధారంగా ఉండే అణునిర్మాణాల మన్నిక ఏ స్థాయిలో ఉండాలి?

ప్రత్యేక పరిశోధనలేవీ చెయ్యకుండానే ఈ సమస్యకి సులభంగా సమాధానం ఇవ్వొచ్చు. అసలు అనువంశిక లక్షణాల గురించి మాట్లాడుతున్నాం అంటేనే శాశ్వత్వాన్ని గుర్తిస్తున్నాం అని లెక్క. ఎందుకంటే జాగ్రత్తగా ఆలోచిస్తే తల్లిదండ్రుల నుండి పిల్లలకి సంక్రమించేవి కేవలం ప్రత్యేక లక్షణాలు కావు. వంకర ముక్కో, పొట్టి వేళ్లో, ర్యుమాటిజం, హీమోఫైలియా మొదకలైన వ్యాధులు సోకే తత్వమో – ఇవి మాత్రమే కాదు. అనువంశిక ధర్మాలని అధ్యయనం చేస్తున్నప్పుడు అలాంటి ప్రత్యేక లక్షణాలని అధ్యయనం చెయ్యడం అనువుగా ఉండొచ్చు. పై తరం నుండి కింది తరానికి అందేది చతుర్మితీయమైన దృశ్యరూపం (phenotype). కంటికి కనిపించే సర్వలక్షణ సమన్వితమైన అభివ్యక్త రూపం. తరతరాలుగా, శతాబ్దాలుగా పెద్దగా మార్పులేకుండా ఆ రూపం భద్రంగా పునరుత్పత్తి అవుతూ రావాలి. (బహుశా కొన్ని పదుల వేల సంవత్సరాలుగా చూస్తే గణనీయమైన మార్పులు కనిపిస్తాయేమో.) రెండు కణాల కలయికలో ఏర్పడ్డ ఫలదీకృత అండం ద్వార ప్రత్యేకమైన జన్యుపదార్థం అంత సుదీర్ఘమైన కాలాల మీదుగా యదాతథంగా, భద్రంగా పునరుత్పత్తి చెందాలి. ఇది నిజంగా అత్యద్భుతం. దీన్ని తలదన్నే అద్భుతం మరొక్కటే వుంది. ఆ రెండిటికీ మధ్య సంబంధం ఉండే అవకాశం వున్నా, ఆ రెండవది వేరే తలంలో వుంది. ఇలాంటి అనువంశిక యంత్రాంగం అనే పునాది మీద వెలసిన మనం, ఆ యంత్రాంగం గురించి పరిశోధనలు చేసి, దాని గురించి అపారమైన జ్ఞానాన్ని సాధించగలుగుతున్నాం అంటే – అదే ఓ పెద్ద అద్భుతం అనుకోవాలి.

ఆ జ్ఞానం పెరుగుతూ పోతే దాని వల్ల మొదటి అద్భుతం గురించిన అవగాహన పెరగొచ్చు. ఇక రెండవ అద్భుతం గురించిన అవగాహన మానవ చింతనకి అతీతమైన విషయం కావచ్చు.

3. ఉత్పరివర్తనలు (mutations)

22. గంతుల వంటి ఉత్పరివర్తనలు – సహజ ఎంపికకి క్రియావేదిక

జన్యునిర్మాణానికి అంతటి మన్నిక ఎందుకు వుందో వివరిస్తూ ఇంతవరకు ఎన్నో సాక్ష్యాధారాలు పేర్కొంటూ వచ్చాను. అవన్నీ బాగా సుపరిచిత విషయాలే కావడంతో పెద్దగా ఆశ్చర్యం కలిగించకపోవచ్చు. "మినహాయింపులే నియమాన్ని నిరూపిస్తాయి" అనే నానుడి ఇక్కడ ఋజువు అవుతున్నట్టుగా వుంది. పిల్లలకి, తల్లిదండ్రులకి మధ్య పోలిక విషయంలో మినహాయింపులే లేకపోతే ఇంతవరకు అనువంశిక యంత్రాంగాన్ని వెల్లడిచేసే అద్భుత ప్రయోగాలన్నీ మనకి దక్కకపోయి ఉండేవి. ఆ మినహాయింపులే లేకుంటే "ప్రకృతి ఎంపిక చేత శ్రేష్ఠులకి జీవనయోగ్యత కలగడం" (survival of the fittest by natural selection) అనే పరిణామధర్మాన్ని వాడుకుంటూ జీవజాతులని సృజించే ప్రకృతి మాత అనుదినం చేసే అద్భుత ప్రయోగాలు కూడా మనకి కనిపించేవి కావు. ఈ ఆఖరు అంశాన్ని ఆరంభంగా తీసుకుని కొన్ని కొత్త విషయాలు మీ ముందు ఉంచబోతున్నాను. ఈ సందర్భంలో నేను జీవశాస్త్ర నిపుణుణ్ణి కానని మరొక్కసారి మనవి చేసుకుంటున్నాను.

జీవజాతులలో వైవిధ్యానికి సంబంధించిన ఒక వాస్తవాన్ని ముందుగా మనం గమనించాలి. బాగా సమజాతీయమైన జనాభాలో (homogenous population) కూడా చిన్న, అవిచ్ఛిన్న, ఆకస్మికమైన వైవిధ్యాలు కనిపిస్తాయి. అలా చిన్న చిన్న వైవిధ్యాలని కలుగజేసే యంత్రాంగం మీదనే ప్రకృతి ఎంపిక నడుస్తుందని డార్విన్ అభిప్రాయపడ్డాడు. అయితే ఆ అభిప్రాయం తప్పని ఇప్పుడు మనకి తెలుసు. అలాంటి వైవిధ్యాలు

అనువంశికంగా సంక్రమించేవి కావని నిరూపించవచ్చు. ఇది చాలా ముఖ్యమైన సత్యం కనుక దీన్ని సోదాహరణంగా చర్చిద్దాము.

మొదటి ఉదాహరణగా శుద్ధ జాతి (pure strain) కి చెందిన బార్లీ పంటనే తీసుకుందాము. దాని పొత్తు (ear) లని తీసుకుని వాటి కొసలలో పొడుచుకొచ్చే తీగల పొడవు కొలుద్దాము. ఇప్పుడు మనం తీసుకున్న కొలతలకి చెందిన గణాంకాలని ఈ కింది రేఖా చిత్రంలో చూపించినట్టు చిత్రిద్దాము. ఫలనా సగటు పొడవు గల తీగలు గల పొత్తుల సంఖ్య చిత్రం 7 లో వ్యక్తం చెయ్యబడుతోంది. అలా ఏర్పడ్డ చిత్రం ఘంటాకారంలో ఉండడం కనిపిస్తోంది. అంటే తీగ పొడవు ఒక మధ్యస్థ విలువ గల పొత్తుల సంఖ్య గరిష్ఠంగా ఉందన్నమాట. తీగ పొడవు సగటు విలువ కన్నా బాగా తక్కువగా అయినా, బాగా ఎక్కువగా అయినా ఉండే పొత్తుల సంఖ్య తక్కువ.[2] ఇప్పుడు సగటు విలువకి బాగా దూరంగా ఉన్న తీగ పొడవులు గల పొత్తులని కొన్ని తీసుకుందాం. (చిత్రంలో నల్లని రంగు పులిమిన ప్రాంతం నుండి ఈ రకమైన పొత్తులు ఎంచుకుందాం.) తగినంత పెద్ద సంఖ్యలో అలాంటి పొత్తులు తీసుకుని వాటితో పంట వేద్దాం. అలా వేసిన పంట నుండి పుట్టిన పొత్తుల యొక్క తీగల పొడవులు మళ్లీ కొలిచి, ఈ సారి చిత్రం 7 లో చేసినట్టే మరో చిత్రం వేయాలి. డార్విన్ అయితే ఈ కొత్త చిత్రంలోని రేఖ కూడా ఘంటాకారంలో ఉంటుందని ఊహించి ఉండేవాడు. కాని, చిత్రం 7 లో కనిపించే రేఖ తో పోల్చితే కాస్త కుడి పక్కకి జరిగినట్టు ఉంటుందని అనేవాడేమో. మరో విధంగా చెప్పుకోవాలంటే మనం చేసిన ఎంపిక వల్ల పొత్తుల తీగల సగటు పొడవు పెరుగుతుందని భావించేవాడు. కాని శుద్ధ-జాతికి చెందిన బార్లీని వాడినట్లయితే వాస్తవంలో అలా జరగదు. మనం ఎంపిక చేసిన పొత్తుల సహాయంతో వేసిన పంట నుండి తీసుకున్న గణాంక సమాచారంతో గీసిన రేఖ కూడా అచ్చం ఇందాకటి చిత్రం 7 లో ఉన్న రేఖ లాగే ఉంటుంది. అలాగే చిత్రం 7 లో ఎడమ చివరి

[2] వాస్తవ ప్రపంచంలో ఎన్నో రాశుల విస్తరణ ఈ విధంగా ఉండడం విశేషం.

ప్రాంతం నుండి పొత్తులు తీసుకుని (వీటి తీగల పొడవు సగటు కన్నా బాగా తక్కువ), వాటితో పంట వేసి, దాని నుండి పుట్టిన పొత్తుల సహాయంతో కొత్త రేఖ గీసినా, అది కూడా చిత్రం 7 లోని రేఖ లాగానే ఉంటుంది. అంతే గాని డార్విన్ ఊహించినట్టు ఈ కొత్త పంటలో పొత్తుల తీగల పొడవు తక్కువగా ఉండదు. దీన్ని బట్టి మనకి అర్థం అయ్యేది ఏంటంటే ఎంపిక వల్ల ఏ ప్రభావమూ ఉండదు. ఎందుకంటే చిన్న అనువంశిక వైవిధ్యాలు అనువంశికంగా సంక్రమించవు. అవి అనువంశిక పదార్థం యొక్క నిర్మాణం మీద ఆధారపడవు. అవి కేవలం యాదృచ్ఛికంగా కలిగే పరిణామాలు.

కాని 40 ఏళ్ల క్రితం ది వ్రీస్ అనే డచ్ దేశస్థుడు ఒక ఆసక్తికరమైన విషయాన్ని కనుగొన్నాడు. పూర్తిగా శుద్ధ జాతి సమూహాలలో కూడా అతి తక్కువ సంఖ్యలో (కొన్ని పదుల వేలలో ఒకటో, రెండో) అక్కడక్కడ 'గంతు వంటి' పరిణామాన్ని ప్రదర్శిస్తాయి అని అతడు తెలుసుకున్నాడు. ఇక్కడ 'గంతు వేసినట్టు' అంటే గణనీయమైన మార్పు జరగడం అని కాదు. 'గంతు వేసినట్టు' అంటే మొదటి స్థితికి, కొత్త స్థితికి మధ్య మధ్యంతర జీవాలు లేవని అర్థం. దీనికే డి వ్రీస్ mutation (ఉత్పరివర్తనం) అని పేరు పెట్టాడు. ఆ మార్పు ఒక విచ్ఛిన్నమైన (discontinuous) మార్పు అన్నది గమనించాల్సి విషయం. అది వింటే భౌతికశాస్త్రవేత్తకి క్వాంటం సిద్ధాంతం గుర్తొస్తుంది. రెండు ఇరుగు పొరుగు శక్తి స్థాయిల మధ్య ఇతర మధ్యంతర శక్తి స్థాయిలు ఉండలేని విషయాన్ని తలపిస్తుంది. ఉపమానాత్మకంగా చెప్పాలంటే డి వ్రీస్ ప్రతిపాదించిన సిద్ధాంతం ఒక విధంగా జీవశాస్త్రపు క్వాంటం సిద్ధాంతం అని చెప్పుకోవచ్చు. అయితే ఇది కేవలం ఉపమానంతో ఆగిపోదని, ఇందులో ఇంకా గూఢార్థం ఉందని ముందు ముందు చూస్తాము. నిజానికి జన్యు అణువులలో జరిగే క్వాంటం గంతుల వల్లనే ఉత్పరివర్తనలు జరుగుతాయి. కాని విశేషం ఏమిటంటే 1902 లో డి వ్రీస్ తన సిద్ధాంతాన్ని ప్రచురించినప్పుడు క్వాంటం సిద్ధాంతం

వయసు కేవలం రెండేళ్లే. ఆ రెండు శాస్త్రాలకి మధ్య సంబంధాన్ని గుర్తించడానికి మరో తరం పాటు ఆగాల్సి వచ్చిందంటే మరి ఆశ్చర్యం లేదు!

23. They breed true - అంటే ఆ మార్పులు అనువంశికం అవుతాయి

మూల జీవంలో ఉండే లక్షణాలకి మల్లె ఉత్పరివర్తనలు కూడా పూర్తిగా అనువంశికంగా సంక్రమిస్తాయి. ఉదాహరణగా ఇందాక చెప్పుకున్న బార్లీ పంటనే తీసుకుందాం. చిత్రం 7 లోని పటంలో కనిపించే వ్యాప్తికి బయట, తీగల పొడవు బాగా తక్కువగా ఉండే పొత్తులు కొన్ని తీసుకుందాం. నిజానికి పొట్టి తీగలు ఉండడమే కాక అసలు తీగలే లేని పొత్తులని పరిగణిద్దాం. అవి డి వ్రీస్ చెప్పిన ఉత్పరివర్తనకి చిహ్నాలు. అలాంటి పొత్తుల తదుపరి సంతతిలో కూడా పొత్తులకి తీగలు ఉండవు.

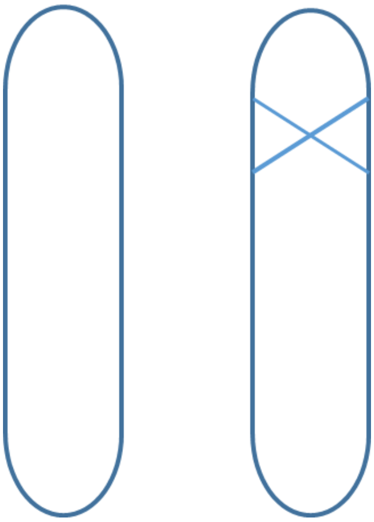
కాబట్టి అనువంశిక సంపదలో ఉత్పరివర్తన ఒక కచ్చితమైన మార్పును సూచిస్తుంది. ఆ మార్పు అసలు అనువంశిక పదార్థంలోనే వేళ్లూని ఉండాలి. ఎన్నో breeding ప్రయోగాలలో ఒక ఉత్పరివర్తక జీవాన్ని ఉత్పరివర్తన లేని మరో జీవంతో గాని, అన్య ఉత్పరివర్తన గల జీవంతో గాని cross చేసి, తద్వార పుట్టిన సంతతిని క్రమబద్ధంగా విశ్లేషంచడం జరుగుతుంది. అలాంటి ప్రయోగాల వల్లనే అనువంశిక యంత్రాంగం గురించి మనం ఎంతో తెలుసుకున్నాం. అలా కాకుండా శుద్ధ తరహాలో breeding జరిగినప్పుడు, తదుపరి సంతతిలో కూడా ఉత్పరివర్తక లక్షణాలు కనిపిస్తాయి కనుక, ఉత్పరివర్తన అనే వేదిక మీద

ప్రకృతి ఎంపిక చక్కగా పని చేస్తుందని అనుకోవాలి. అప్పుడే డార్విన్ ఊహించినట్టు కొత్త జీవజాతులు పుడతాయి. అప్పుడే అసమర్థ జీవజాతులు తొలగి, అత్యంత సమర్థవంతమైన జీవజాతులు మన్నుతాయి. డార్విన్ సిద్ధాంతంలో 'చిన్న చిన్న యాదృచ్ఛిక మార్పులు' అన్న పదజాలానికి బదులు 'ఉత్పరివర్తనలు' అనే పదాన్ని ప్రతిక్షేపిస్తే సరిపోతుంది. (క్వాంటం సిద్ధాంతంలో 'అవిచ్ఛిన్న శక్తి సరఫరా'కి బదులు 'క్వాంటం గంతు' అనే భావన ఎలా వచ్చిందో ఇదీ అంతే.) డార్విన్ సిద్ధాంతంలో మిగతా అన్ని అంశాల లోను పెద్దగా మార్పులు చేర్పులు అవసరం లేదు. అయితే ఒకటి. జీవశాస్త్రంలోని మూల భావనలని నేను సరిగ్గా అర్థం చేసుకున్నాను, అన్వయించుకోగలుగుతున్నాను అని జీవశాస్త్రవేత్తలు ఒప్పుకుంటేనే నేను చేస్తున్న వ్యాఖ్యానం చెల్లుతుంది.

24. ప్రాంతీయకరణ, అంతర్గత లక్షణాలు, బహిర్గత లక్షణాలు

ఇప్పుడు ఉత్పరివర్తనలకి సంబంధించిన మరి కొన్ని మౌలిక నిజాల గురించి, భావనల గురించి చెప్పుకుందాం. ప్రయోగాలు చెప్పే సాక్ష్యాధారాలతో వాటిని సమర్థించే ప్రయత్నం చెయ్యకుండా, కేవలం సైద్ధాంతింగా వాటి గురించి చెప్పుకుందాం. కచ్చితంగా పరిశీలించబడ్డ ఉత్పరివర్తనకి కారణం ఏదో ఒక క్రోమోజోమ్ లో ఏదో ఒక నియత స్థానంలో జరిగిన మార్పేనని ఆశించవచ్చు. నిజానికి అలాగే జరుగుతుంది కూడా. అయితే ఆ మార్పు ఒక క్రోమోజోమ్ లోనేనని, దాని సమరూప (homologous) క్రోమోసోమ్ లో కూడా తత్సంబంధిత 'స్థానం' (locus) లో అలాంటి మార్పు జరగనవసరం లేదని మనకి కచ్చితంగా తెలుసని ఇక్కడ చెప్పుకోవాలి. చిత్రం ****8 లో రెండు క్రోమోసోమ్ లు ప్రదర్శించబడుతున్నాయి. వాటిలో ఒక దాంట్లో కనిపిస్తున్న X గుర్తు ఉత్పరివర్తన జరిగిన

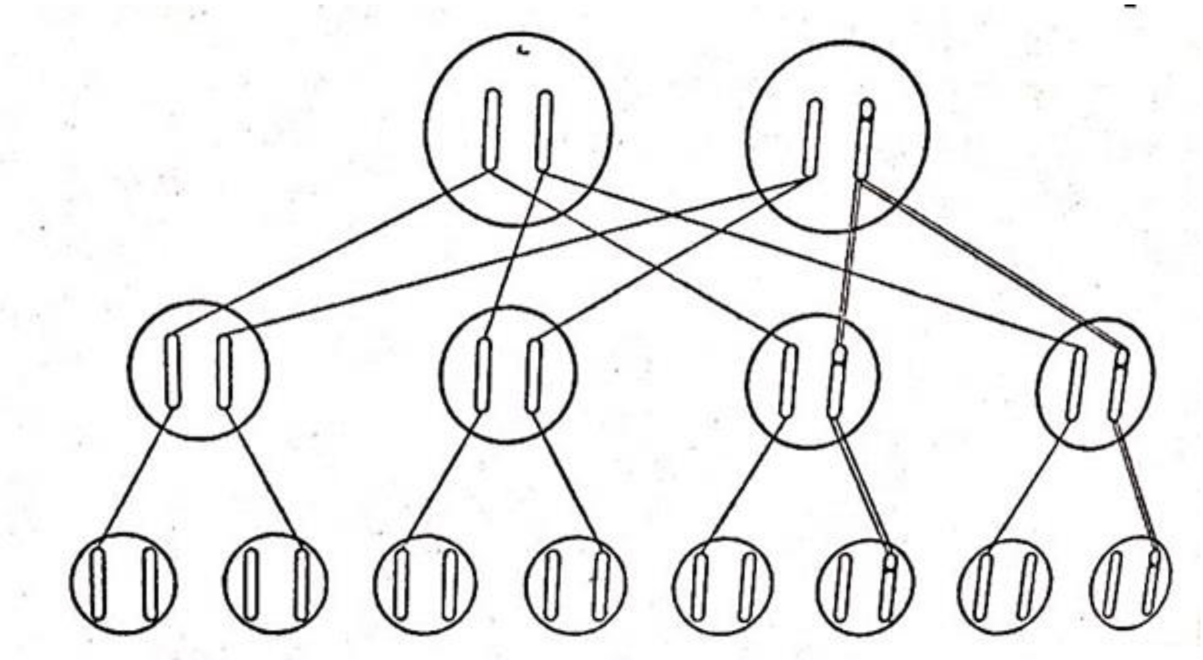
స్థానాన్ని సూచిస్తోంది. అనురూపమైన రెండు క్రోమోసోమ్ లలో ఒక దాంట్లోనే ఉత్పరివర్తన జరిగింది అన్న నిజం, ఆ ఉత్పరివర్తిత జీవి (దీన్నే mutant, మ్యూటంట్ అంటారు) కి, ఉత్పరివర్తన జరగని జీవికి మధ్య సంపర్కం కలిగించినప్పుడు తెలుస్తుంది. వారి సంతతిలో సరిగ్గా సగం జీవాలలో ఉత్పరివర్తక లక్షణం కనిపిస్తుంది. తక్కిన వాటిలో సామాన్య లక్షణమే కనిపిస్తుంది. మ్యూటంట్ లో మియాసిస్ జరిగినప్పుడు, రెండు క్రోమోజోమ్ లు వేరుపడినప్పుడు సరిగ్గా ఇదే జరుగుతుందని ఆశించవచ్చు. ఈ విషయం చిత్రం 9** లో చక్కగా వ్యక్తం చెయ్యబడింది. ఈ చిత్రంలో కనిపించే 'వంశవృక్షం' లో ఇందాక చెప్పుకున్న క్రోమోసోమ్ ల జంట మూడు తరాల జీవాలలో ఏమవుతుందో తెలుస్తోంది.



చిత్రం 8: విషమ సంయుగ్మ క్రోమోసోమ్ లు. కుడి క్రోమోసోమ్ మీద కనిపిస్తున్న X గుర్తు ఉత్పరివర్తన చెందిన జీన్ ని సూచిస్తుంది.

చిత్రం 9. ఉత్పరివర్తన వారసత్వంగా సంక్రమించడం. సరళ రేఖలు క్రోమోజోమ్ లు ఒక తరం నుండి మరో తరానికి బదిలీ కావడాన్ని సూచిస్తున్నాయి. జంటలుగా కనిపిస్తున్న సరళ రేఖలు ఉత్పరివర్తన చెందిన క్రోమోజోమ్ లని సూచిస్తున్నాయి. మూడవ తరంలో సరళ రేఖలతో సంధించబడని క్రోమోజోమ్ లు కొన్ని కనిపిస్తున్నాయి. ఇవి రెండవ తరం

వ్యక్తుల భాగస్వాముల (mate) నుండి సంక్రమించినవి. ఆ భాగస్వాములని చిత్రంలో ప్రదర్శించడం లేదు. వాళ్లు రక్తసంబంధం లేని వాళ్లని, ఉత్పరివర్తన జరగని వాళ్లని ఇక్కడ నమ్ముతున్నాము.

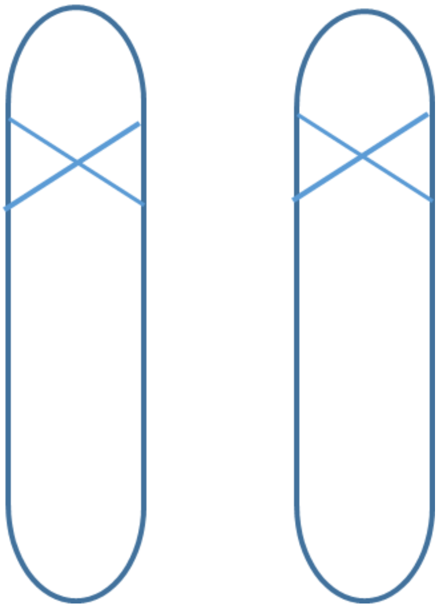


చిత్రం 9: ఉత్పరివర్తనలు పై తరం నుండీ కింది తరానికి సంక్రమించే తీరు

ఇక్కడ గమనించాల్సిన విషయం ఏమిటంటే మ్యూటంట్ లోని రెండు క్రోమోసోమ్ లలోను దోషం వుంటే, సంతతిలో అందరికీ ఆ (మిశ్రమ) వారసత్వమే దక్కుతుంది. తల్లిదండ్రులు ఇద్దరి కన్నా పిల్లలు భిన్నంగా ఉంటారు.

అయితే ఈ రంగంలో ప్రయోగాలు చెయ్యాలంటే మాట్లాడినంత సులభం కాదు. ఒక కారణం వల్ల ప్రయోగాలు మరింత జటిలం అవుతాయి. అదేమిటంటే ఎన్నో సందర్భాలలో ఉత్పరివర్తనలు గుప్తంగా (latent) ఉండిపోతాయి. గుప్తంగా ఉండిపోవడం అంటే ఏమిటి?

మ్యూటంట్ లో 'గుప్తసంకేత-పత్రం యొక్క రెండు ప్రతులు' సమానంగా ఉండవు. అవి రెండూ రెండు రూపాంతరాలు (versions) అని చెప్పుకోవాలి. అయితే రెండూ ఒక్క చోటే ఉంటాయి. ఇక్కడ ఒక విషయం చెప్పుకోవాలి. ఆ రెండు రూపాంతరాలలోను మూల ప్రతి ఒక విధంగా 'సాంప్రదాయబద్ధమైనది' అని, ఉత్పరివర్తన చెందినది 'సాంప్రదాయ విరుద్ధమైనది' అని అనుకోవచ్చని అనిపిస్తుంది గాని అలా అనుకోవడం పొరబాటే అవుతుంది. రెండిటికీ సమాన హక్కులు ఉన్నట్టుగా పరిగణించాల్సి వుంటుంది. ఎందుకంటే ఉత్పరివర్తన గల వారి కూడా కొందరు మామూలుగా, ఆరోగ్యంగానే ఉన్నారు.



చిత్రం 10: సమయుగ్మజ ఉత్పరివర్తన. కింది తరంలో నాలుగోవంతు జీవాలలో ఇది జరుగుతుంది.

వాస్తవంలో ఏం జరుగుతుందంటే వ్యక్తి యొక్క అనురూపం (pattern) సామాన్యంగా రెండు రూపాంతరాల లోను ఏదో ఒక దాన్నే అనుసరిస్తుంది. అది ఆరోగ్యవంతమైనది కావచ్చు, ఉత్పరివర్తన గలది కావచ్చు. అనుసరించబడిన దాన్ని 'బహిర్గతం' (dominant) అంటారు, లేనిదాన్ని 'అంతర్గతం' (recessive) అంటారు. మరో విధంగా చెప్పుకోవాలంటే ఉత్పరివర్తన వల్ల వ్యక్తి అనురూపంలో (pattern), అంటే శారీరక లక్షణాలలో, మార్పు వస్తే అలాంటి ఉత్పరివర్తన 'బహిర్గతం' (dominant) అయ్యింది అన్నమాట. శారీరక లక్షణాలలో మార్పు రాకపోతే అలాంటి ఉత్పరివర్తన 'అంతర్గతం' (recessive) గానే ఉండిపోయింది అన్నమాట.

బహిర్గత ఉత్పరివర్తనలు కన్నా అంతర్గత ఉత్పరివర్తనలు మరింత తరచుగా జరుగుతాయి. ఫలితాలు పైకి కనిపించకపోయినా అవి కూడా చాలా ముఖ్యమైనవి. వాటి వల్ల అనురూపంలో మార్పు రావాలంటే రెండు క్రోమోజోమ్ లలోను అవి ఉండాలి (చిత్రం 10***). అలాంటి జీవాలు పుట్టాలంటే రెండు 'అంతర్గత' మ్యూటంట్ ల మధ్య సంపర్కం జరిపించాలి. లేదా ఒకే మ్యూటంట్ ని దాంట్లో దానికి సంపర్కం జరిపించాలి. Hermaphroditic (*****) మొక్కల్లో అది సాధ్యమవుతుంది ఎందుకంటే వాటిలో అది సహజంగా జరుగుతుంది. వాటి సంతతిలోని నాలుగో వంతు జీవాలు ఉత్పరివర్తన కలిగినవే అవుతాయి, ఆ లక్షణాలనే వ్యక్తం చేస్తాయి కూడా.

25. కొంత పరిభాషని పరిచయం చేద్దాం

ఈ సందర్భంలో కొన్ని పారిభాషిక పదాలని పరిచయం చేయడం మేలనుకుంటాను. ఇందాక నేను 'గుప్తసంకేత-పత్రం యొక్క రూపాంతరం' అని భారీ పదజాలాన్ని

ప్రయోగించాను. దాన్ని సూచిస్తూ ‘అలీల్’ (allele) అనే పదాన్ని స్వీకరించారు. చిత్రం 8*** లో సూచించినట్టు రెండు రూపాంతరాలు వేరు వేరుగా ఉంటే అప్పుడు ఆ జీవిని, ఆ ప్రత్యేక జన్యు స్థానం బట్టీ చూస్తే, విషమ యుగ్మజం (heterozygous) అంటారు. ఉత్పరివర్తన లేని జీవిలో లాగ రెండు రూపాంతరాలు సరిసమానం అయితే (చిత్రం 10*** లో సూచించినట్టు) అలాంటి జీవిని సమయుగ్మజం (homozygous) అంటారు. అంతర్గతమైన అలీల్ (recessive allele) సమయుగ్మజం అయినప్పుడు మాత్రం శారీరక అనురూపంలో వ్యక్తం అవుతుంది. అలా కాకుండా బహిర్గతమైన అలీల్ అయితే సమయుగ్మజం అయినా, విషమయుగ్మజం అయినా వ్యక్తం అవుతుంది.

వర్ణరాహిత్యం (లేదా తెల్ల రంగు) కన్నా వర్ణం మరింత ప్రాబల్యం కలిగి ఉంటుంది. ఉదాహరణకి బఠానీ మొక్కలో పూల రంగుని శాసించే allele ఫలానా క్రోమోసోమ్ ల జంట లో ఉందనుకుందాం. ఆ రెండు క్రోమోసోమ్ లలోను, దానికి సంబంధించిన జన్యుస్థానం (locus) వద్ద ‘తెల్ల రంగు పూలని శాసించే అంతర్గత అలీల్’ లు ఉన్నప్పుడే ఆ పువ్వులు తెల్లని పువ్వులు అవుతాయి. అంటే పూల తెల్లదనానికి సంబంధించినంత వరకు అది సమయుగ్మజం కావాలన్నమాట. అలా కాకుండా ఒకటి ‘ఎరుపు అలీల్’, మరొకటి ‘తెలుపు అలీల్’ అయినట్లయితే, (అంటే విషమయుగ్మజం అయితే), అప్పుడు ఎర్రని పువ్వులే పూస్తాయి. అలాగే రెండూ ‘ఎరుపు అలీల్’ లు అయినా కూడా ఎర్రని పువ్వులే పూస్తాయి. ‘ఎరుపు-తెలుపు’ అలీల్ ల జంటకి, ‘ఎరుపు-ఎరుపు’ అలీల్ ల జంటకి మధ్య భేదం తదుపరి తరంలోనే బయటపడుతుంది. ఎందుకంటే విషమయుగ్మజంలో ఎరుపు ఉంటే తెల్ల పూలు పూస్తాయి, సమయుగ్మజంలో ఎరుపు ఉంటే ఎర్రని పూలే పూస్తాయి.

రెండు జీవులు వాటి బాహ్య రూపురేఖల్లో ఒక్కలాగే ఉన్నా, వాటి వారసత్వంలో భేదం ఉండొచ్చు నన్న వాస్తవం ఎంత ముఖ్యమైనది అంటే అలాంటి భేదాన్ని కచ్చితంగా నిర్వచించడం చాలా అవసరం. జన్యుశాస్త్రవేత్తలని అడిగితే ఆ తేడానికి ఇలా స్పష్టం చేస్తారు. ఆ రెండు జీవల బాహ్య రూపురేఖలలో సమానత అనే లక్షణాన్ని, వాటి దృశ్యరూపంలో (phenotype) సమానతగా నిర్వచిస్తారు. అలాగే జన్యువులలో ఉన్న భేదాన్ని 'జన్యురూపం' (genotype) లో భేదంగా నిర్వచిస్తారు.

పైన చెప్పుకున్న విషయాల సారాంశం ఇలా ఒక్క వాక్యంలో చెప్పుకోవచ్చు. అంతర్గత అలీల్ యొక్క ప్రభావం దృశ్య రూపంలో కనిపించాలంటే దాని జన్యురూపం సమయుగ్మజం కావాలి.

ఈ పారిభాషిక పదాలు అడపాదపా వాడుదాం. కాని అవసరమైన చోటల్లా వాటి అర్థాన్ని సమయోచితంగా స్మరిద్దాం.

26. సంబంధీకులతో సంపర్కం వల్ల హానికర ప్రభావాలు

అంతర్గత ఉత్పరివర్తనలు, అవి విషమయుగ్మజాలుగా ఉన్నంత కాలం, ప్రకృతి ఎంపికకి కి అవకాశం ఇవ్వవు. కొన్ని సార్లు ఉత్పరివర్తనలు హానికరంగా ఉంటాయి. అలాంటి సందర్భాలలో కూడా అవి పూర్తిగా తొలగిపోకుండా ప్రచ్ఛన్నంగా ఉండిపోతాయి. ఆ కారణం చేత చెడు ప్రభావాలు పైకి కనిపించకపోయినా లోపల ప్రచ్ఛన్నంగా అహితమైన ఉత్పరివర్తనలు పోగు అవుతూ ఉంటాయి. కాని సంతతిలో సగభాగం జీవాలకు అవి సంక్రమిస్తాయి. ఈ పరిణామం మనుషులకే కాక, పశువులకి, కోళ్లకి ఇలా ఎన్నో

జీవజాతులకి ఎంతో అవసరమైనది. దాని వల్ల తదుపరి తరంలో ఎన్నో ఉపయోగకరమైన భౌతిక లక్షణాలు సంక్రమిస్తాయి. ఉదాహరణకి (చిత్రం 9) ఒక పురుషుడు (ఎవడో నాబోటి వాడు) హానికరమైన అంతర్గత ఉత్పరివర్తనాన్ని విషమయుగ్మజంగా కలిగి వున్నాడని అనుకుందాం. అంటే దాని చెడు ప్రభావం పైకి కనిపించదు అన్నమాట. ఇప్పుడు నా భార్యలో అలాంటి ఉత్పరివర్తన లేదని అనుకుందాం. అప్పుడు మా పిల్లల్లో సగం మంది ఆ ఉత్పరివర్తనని విషమయుగ్మజంగా కలిగి వుంటారు. వాళ్లందరూ కూడా ఆ ఉత్పరివర్తన లేని భాగస్వాములనే వివాహం చేసుకుంటే, మా మనవలు/మనవరాళ్లలో సగటున నాలుగో వంతు వారు అలాంటి ఉత్పరివర్తన ని కలిగి ఉంటారు.

అలాగే వివాహాలు జరిగితే ఆ ఉత్పరివర్తన యొక్క దుష్ప్రభావాలు బయటపడే ప్రమాదం లేదు. అలా కాకుండా అదే ఉత్పరివర్తనని కలిగిన వ్యక్తులని పెళ్లి చేసుకుంటే, వారి పిల్లల్లో నాలుగో వంతు వారు సమయుగ్మజం గల వారు అవుతారు. అంటే వారిలో దుష్ప్రభావాలు కనిపిస్తాయి. ఎందుకంటే వాళ్లు సమయుగ్మజం గల వారు అవుతారు. ఆత్మసంపర్కం (hermaphrodite మొక్కల్లో ఇది సాధ్యం) తరువాత జన్యుపరంగా అత్యంత ప్రమాదకరమైనది అన్నా చెల్లెళ్ల మధ్య వివాహం. ఇద్దరిలో ఒకరిలో ఉత్పరివర్తన జరిగే అవకాశం తగినంతగా వుంది అనుకుంటే, అలాంటి సంగమాలలో నాలుగో వంతు ప్రమాదకరమైనవి అవుతాయి. ఎందుకంటే ఆ నాలుగో వంతు జంటలకి కలిగిన పిల్లల్లో నాలుగో వంతు వారిలో దుష్ప్రభావాలు కనిపిస్తాయి. అంటే అన్నా చెల్లెళ్లు దంపతులైతే వారికి పుట్టిన సంతతిలో దుష్ప్రభావాలు కనిపించే అవకాశం ("ప్రమాద గుణకం") 1:16 అవుతుంది.

అదే విధంగా మా మనవలు, మనవరాళ్లలో బావ, మరదళ్ల వరసలో (first cousin) పెళ్లి చేసుకున్న వారి పిల్లల విషయంలో ప్రమాద గుణకం విలువ 1:64 అవుతుంది. ఇదేమంత ప్రమాదకర పరిణామంలా కనిపించదు. అందుకే ఈ రకం పెళ్లిళ్లు చాలానే జరుగుతాయి. కాని ఒక్క విషయం మర్చిపోవద్దు. ఇంతవరకు మనం విశ్లేషించినది పూర్వీకులలో ఒక జంటలో ("నేను, నా భార్య"), ఇద్దరిలో ఎవరో ఒకరిలో మాత్రమే, ఒక జన్యుస్థానంలో జరిగే ఉత్పరివర్తన వల్ల కలిగే దుష్టప్రభావపు సంభావ్యత. కాని అలాంటి జన్యు దోషాలు ఒకే వ్యక్తిలో ఎన్నో ఉండొచ్చు. అసలు మీలోనే అలాంటి జన్యు దోషం ఉంటే, మీ తల్లిదండ్రుల తోబుట్టువుల పిల్లల్లో 8 మందిలో ఒకరిలో అయినా అలాంటి దోషం ఉండే అవకాశం వుందని గుర్తుంచుకోవాలి. బాగా ప్రమాదకరమైన దోషాలు కాస్త అరుదుగా ఏర్పడినా, చిన్న చిన్న దోషాలు అనేకం సమిష్టిగా ప్రభావాన్ని చూపుతూ దగ్గిర సంబంధాల వివాహాల నుండీ పుట్టిన ఆరోగ్యాన్ని దెబ్బ తీయవచ్చని మొక్కల్లోను, జంతువుల్లోను చేసిన ప్రయోగాల నుండి తెలుస్తోంది. వెనకటికి టేగటోస్ కొండ మీద లాసెడెమోనియన్లు చేసినట్టు జన్యు దోషాలని కిరాకత పద్ధతులలో తొలగించడం వీలుపడదు. కాబట్టి జన్యుదోషాల వల్ల మనిషిలో ఎలాంటి దుష్టపరిణామాలు కలుగుతాయో అర్థం చేసుకోవాలి. ఇలాంటి దోషాల వల్ల నిజానికి 'ప్రకృతి ఎంపిక చేత శ్రేష్ఠులకి కలిగే జీవనయోగ్యత' అనే పరిణామ సూత్రానికి విరుద్ధమైన పరిణామాలు కనిపిస్తాయి. ఆధునిక కాలంలో జరిగే మహాయుద్ధాల నేపథ్యంలో కూడా పై సూత్రానికి ప్రతికూలమైన పర్యవసానాలు కలుగుతునాయి. పాత రోజుల్లో వివిధ స్థానిక జాతులు కలహించుకున్నప్పుడు వారిలో బలవంతులైన యువకులు మాత్రమే నిలిచేవారు. ఒక విధంగా అది మౌలిక పరిణామ సూత్రాన్ని సమర్థిన్నట్టు అవుతుంది. కాని ఆధునిక యుగంలో మనుషులు కనిపెట్టిన దారుణ మారణాయుధాల ప్రభావం వల్ల బలవంతులు,

బలహీనులు అన్న భేదం లేకుండా పెద్ద సంఖ్యలో యువత నాశనం అవుతారు. దాని వల్ల మౌలిక పరిణామ సూత్రం ఉల్లంఘించబడుతున్నట్టు అవుతుంది.

27. కొన్ని సామాన్య చారిత్రక సంగతులు

విషమయుగ్మజాలలో అంతర్గతంగా ఉండే అలీల్ బహిర్గత అలీల్ కి పూర్తిగా లోబడిపోవడం ఆశ్చర్యం కలిగిస్తుంది. అయితే ఇలాంటి ప్రవర్తనకి కూడా మినహాయింపులు ఉన్నాయని చెప్పవలసి వుంటుంది. సమయుగ్మజం అయిన తెల్ల snapdragon మొక్కకి, అదే విధంగా సమయుగ్మజం అయిన ఎర్ర snapdragon మొక్కతో సంపర్కం జరిపితే వాటి నుండి పుట్టిన కింది తరాల మొక్కలన్నీ మధ్యంతర రంగు కలిగి ఉంటాయి. అంటే గులాబి (pink) రంగులో ఉంటాయి. రెండు అలీల్ లు ఏకకాలంలో వాటి ప్రభావం చూపగలవు అని నిరూపించడానికి మరో ఆసక్తికరమైన ఉదాహరణ రక్త వర్గాల (blood groups) విషయంలో కనిపిస్తుంది. కాని ఆ సంగతులు ఇక్కడ ప్రస్తావించబోవడం లేదు. అంతర్గత, బహిర్గత లక్షణాలు రెండు వ్యతిరేక ధృవాలలా కాక, రెండిటి మధ్య ఎన్నో స్థాయీభేదాలు ఉంటాయని తెలిస్తే ఆశ్చర్యపడనక్కర్లేదు. ఆ స్థాయీ భేదాన్ని తెలుసుకోవాలంటే జీవి యొక్క దృశ్యరూపాన్ని (phenotype) నిర్ణయించడంలో మరింత సునిశితమైన పరీక్షలని వినియోగించవలసి ఉంటుంది.

ఈ సందర్భంలో జన్యు శాస్త్రపు తొలి చారిత్రక ఘట్టాల గురించి కొద్దిగా చెప్పుకోవలసి ఉంటుంది. జన్యుసిద్ధాంతానికి పునాదులు వేసినవాడు అగస్టీనియన్ క్రైస్తవ సాధువు అయిన గ్రెగర్ మెండెల్ (1822-1884). ఆ సిద్ధాంతంలో అతడు ప్రపంచ ప్రఖ్యాతి పొందాడు. తరతరాలుగా వారసత్వ లక్షణాలు ఎలా సంక్రమిస్తాయో తెలిపే వారసత్వ ధర్మం (Law of Inheritance), ముఖ్యంగా అంతర్గత-బహిర్గత అలీల్ ల మధ్య భేదం, మొదలైనవన్నీ

మొదట మెండెల్ కనుక్కున్నవే. మెండెల్ కి క్రోమోసోమ్ ల గురించి, ఉత్పరివర్తనల గురించి ససేమిరా తెలియదు. బ్రున్ నగరంలోని తన క్రైస్తవ మఠ వనాలలో బఠాణీ మొక్కల మీద ఎన్నో ప్రయోగాలు చేశాడు. వాటిలో ఎన్నో రకాల మొక్కలని పెంచాడు. వాటి మధ్య సంపర్కం జరిపి, తరతరాలుగా వాటి సంతతిలో లక్షణాలు మారే విధానాన్ని క్షుణ్ణంగా పరిశీలించాడు. ఒక విధంగా చెప్పాలంటే అతడు ప్రకృతిలో స్వతస్సిద్ధంగా కనిపించే మ్యూటంట్ లతో పని చేశాడు. 1866 లో అతడు తనకి దొరికిన ఫలితాలని Proceedings of Naturforschender Verein in Brunn అనే పత్రికలో ప్రచురించాడు. ఆ సాధువు చేసిన ప్రయోగాలని ఎవరూ పెద్దగా పట్టించుకోలేదు. అతడు కేవలం ఒక వ్యాపకంలా చేస్తున్న ప్రయోగాలు ఇచ్చిన మార్గదర్శకతవం వల్ల ఇరవయ్యవ శతాబ్దపు విజ్ఞానంలో ఓ తరగని గని కనుగొనబడింది. జన్యుశాస్త్రం అనే ఓ కొత్త శాస్త్రవిభాగం అంకురించింది. మొదట అతడు రాసిన పత్రాన్ని ఎవరూ పట్టించుకోలేదు. 1900 లో ముగ్గురు శాస్త్రవేత్తలు వేరు వేరుగా దాన్ని మళ్లీ తవ్వి తీసి దాని విలువేంటో తెలుసుకున్నారు. ఆ పునరావిష్కరణ చేసిన వారు కోరెన్స్ (బెర్లిన్), డి వ్రీస్ (ఆంస్టెర్డామ్), షెర్మాక్ (వియెన్నా) లు.

28. ఉత్పరివర్తన అరుదైన ఘటన కావడం ఎంతో అవసరం

ఇంతవరకు మనం హానికర ఉత్పరివర్తనల గురించే చర్చించుకున్నాం. కాని లాభదాయక ఉత్పరివర్తనలు కూడా ఎన్నో ఉంటాయి. అప్రయత్నంగా జరిగిన ఓ ఉత్పరివర్తన వల్ల దానికి సంబంధించిన జీవజాతి పరిణామ పథంలో ఓ చిన్న ముందడుగు వేస్తోంది అనుకుంటాం. ఆ ఉత్పరివర్తన ద్వార ఆ జీవజాతి పురోగమించాలని చూస్తోంది. కాని మార్పు హానికరమైనది అయితే దాని వల్ల ఆ జీవజాతికి నష్టం వాటిల్లుతుంది. కొన్ని

సార్లు ఆ మార్పు వల్ల ఆ జీవజాతి సమూలంగా నాశనం కావచ్చు కూడా. ఈ నేపథ్యంలో మనకి ఉత్పరివర్తన గురించి ఒక ముఖ్యమైన విషయం అర్థమవుతోంది. ఉత్పరివర్తనలు తప్పనిసరిగా అరుదుగానే జరగాలి. అప్పుడే అవి ప్రకృతి ఎంపిక జరగడానికి కావలసిన యంత్రాంగాన్ని సమకూరుస్తాయి. మరి వాస్తవంలో కూడా ఉత్పరివర్తనలు అరుదుగానే జరుగుతాయి. అలా కాకుండా ఉత్పరివర్తనలు తరచుగా జరిగితే, హానికర ఉత్పరివర్తనల ప్రభావం, లాభదాయక ఉత్పరివర్తనల ప్రభావాన్ని అధిగమించడం వల్ల, తత్సంబంధిత జీవజాతి ఎదగకపోగా నాశనమయ్యే ప్రమాదం వుంది. జన్యు యంత్రాంగం ఎంతో సుస్థిరంగా ఉండడం వల్ల జన్యుపదార్థంలో నెలకొనే ఒక విధమైన శాశ్వతత్వం ఎంతో అవసరం. ఈ సందర్భంలో ఓ పెద్ద కర్మాగారం యొక్క పనితీరుకి జన్యుయంత్రాంగం యొక్క పనితీరుకి మధ్య పోలిక చెప్పుకోవచ్చు. కర్మాగారం లాభాలు చేసుకోవాలంటే అందులో కొత్త కొత్త ఆవిష్కరణలు జరగాలి. ఆ ఆవిష్కరణలు లాభదాయకమో కాదో ముందుగా తెలియకపోయినా, అలాంటి ప్రయత్నం మాత్రం జరుగుతూ ఉండాలి. కాని ఆ ఆవిష్కరణలు లాభదాయకమో కాదో తెలుసుకోడానికి వాటిని ఒక్కటొక్కటిగా, నెమ్మది నెమ్మదిగా కార్మాగార విధానాలలో అమలు చేస్తూ ఉండాలి. అలా కాకుండా అనిర్ధారిత కొత్త విధానాలని పెద్ద సంఖ్యలో కర్మాగారపు విధివిధానాలలో ప్రవేశపెడితే కర్మాగారపు అస్తిత్వానికే ముప్పు.

29. ఎక్స్-రేలు ఉత్పరివర్తనలు కలుగజేస్తాయి

జన్యుపరిశోధనలో ఒక అత్యంత ప్రతిభావంతమైన పరిశోధన గురించి ఇప్పుడు చెప్పుకుందాము. మనం చెయ్యగోరుతున్న విశ్లేషణకి అది ఎంతో అవసరం.

జనక తరం మీద ఎక్స్-రే లని గాని, గామా రే లని గాని ప్రయోగిస్తే సంతతిలో ఉత్పరివర్తన జరిగే శాతం (దీన్నే ఉత్పరివర్తనా వేగం (mutation rate) అంటారు) ఎన్నో రెట్లు పెరుగుతుంది. సహజంగా, అప్రయత్నంగా జరిగే ఉత్పరివర్తనలకి, ఈ రకమైన ఉత్పరివర్తనలకి మధ్య మౌలికమైన తేడా ఏమీ లేదు. ఈ కృత్రిమ పద్ధతిలో మరింత ఎక్కువగా ఉత్పరివర్తనలు జరుగుతాయంతే. దీన్ని బట్టి ప్రతీ 'సహజ' ఉత్పరివర్తనని కూడా ఎక్స్-రే ల సహాయంతో కలుగజేయవచ్చని అనిపిస్తుంది. డ్రోసొఫైలా (ఒక రకమైన ఈగ) లో ఎన్నో ప్రత్యేక ఉత్పరివర్తనలు సహజంగా పదే పదే ఉత్పన్నం అవుతాయి. విభాగం 18 లో పేర్కొన్నట్టు అవన్నీ క్రోమోసోమ్ లలో ప్రత్యేక స్థానాలలో జరుగుతాయి. వాటికి ప్రత్యేకమైన పేర్లు కూడా ఇవ్వబడ్డాయి. ఇంతవరకు మనం చూసిన 'అలీల్ జంటలు' మాత్రమే కాక 'బహుళ అలీల్' లు కూడా ఉంటాయని తెలుసుకున్నారు. అంటే క్రోమోసోమ్ లలో ఒక జన్యుస్థానంలోనే రెండు కన్నా ఎక్కువ రూపాంతరాలు కూడా ఉండొచ్చని తెలిసింది. వీటిలో ఏ రెండు రూపాంతరాల మధ్యనైనా, అవి సమరూప (homologous) క్రోమోజోమ్ లో తత్సంబంధిత జన్యుస్థానంలో ఏర్పడినప్పుడు, 'అంతర్గత-బహిర్గత' వంటి సంబంధం ఏర్పడుతుంది.

ఎక్స్-రే ల వల్ల ఏర్పడ్డ ఉత్పరివర్తనలని గమనిస్తే ఒక విషయం అర్థమవుతుంది. ఒక ఆరోగ్యవంతమైన జీవి, తత్సంబంధిత మ్యూటంట్ గా మారినప్పుడు గాని, లేదా మ్యూటంట్ ఆరోగ్యవంతమైన జీవిగా మారినప్పుడు గాని, ఆ మారుదలని వర్ణించే ఒక 'ఎక్స్-రే గుణకం' ఉంటుందని అనుకోవాలి. ఏమిటీ ఎక్స్-రే గుణకం? ఒక యూనిట్ మోతాదు ఎక్స్-రేలని తల్లిదండ్రుల మీద ప్రయోగిస్తే, వారి సంతతిలో ఎంత శాతంవారు ఆ పద్ధతిలో ఉత్పరివర్తనకి గురి అవుతారో ఆ విధానం తెలుపుతుంది.

30. మొదటి నియమం. ఉత్పరివర్తన ఒక అనన్య ఘటన

ప్రేరిత ఉత్పరివర్తనా వేగాన్ని శాసించే ధర్మాలు చాలా సరళమైనవి. Biological Reviews (vol. 9, 1934) లో N.W. Timofeeff రాసిన నివేదికలోని అంశాలు ఇక్కడ పేర్కొంటున్నాను. అందులో ఎక్కువ భాగం ఆ రచయిత చేసిన అద్భుత కృషికి చెందిన విషయాలే ఉన్నాయి.

మొదటి ధర్మం –

1. ఉత్పరివర్తనా వేగం లోని పెరుగుదల సరిగ్గా ఎక్స్-రే ల మోతాదుకి అనులోమంగా పెరుగుతుంది. అందుకే ఆ రెండు రాశుల మధ్య సంబంధాన్ని తెలిపే గుణకాన్ని నిర్వచించడానికి వీలవుతుంది. (ఇందాక నేను చేసింది కూడా అదే.)

సరళ విలోమ ధర్మానికి మనం ఎంతగా అలవాటుపడిపోయాం అంటే ఈ సరళ, సామాన్య ధర్మం యొక్క ప్రాముఖ్యతని మనం తక్కువ అంచనా వేసే ప్రమాదం వుంది. దీన్ని అర్థం చేసుకోవాలంటే ఒక సరుకు యొక్క వెల దాని మోతాదుతో ఎప్పుడూ సమ నిష్పత్తిలో ఉండాల్సిన అవసరం లేదని గుర్తుంచుకోవాలి. మీరు అంగట్లో ఆరు నారింజలు కొన్నారనుకుందాం. ఆ తరువాత మరో సందర్భంలో డజను నారింజలు కొనబోయినప్పుడు. ఆ అంగడివాడికి మీరు ఎంతో నచ్చి, ఆరు నారింజల వెలకి రెండు రెట్ల కన్నా తక్కువ వెలకే మీకు ఆ పళ్లు ఇవ్వొచ్చు. కాని పళ్లు అరుదుగా దొరికే సందర్భాలలో ఇందుకు వ్యతిరేక ధోరణి కనిపిస్తుంది. ప్రస్తుత సందర్భంలో మనం వికిరణాలలో (radiation) లో మొత్తం మోతాదులో సగం మాత్రం ప్రసరించినప్పుడు, వెయ్యిలో ఒక సంతానంలోనే ఉత్పరివర్తన జరిగింది అనుకుందాం. కాని మిగతా సంతతిలో ఆ వికిరణాలకి ఎలాంటి ప్రభావమూ ఉండదు. అంటే వాటిలో ఇప్పుడు ఏ దుష్టప్రభావమూ

కనిపించకపోయినా, ప్రస్తుతం ఇచ్చిన మోతాదు వల్ల భవిష్యత్తులో మరింత హాని కలిగే ప్రమాదం లేదు. అలాగే ప్రస్తుతం ఇచ్చిన మోతాదు వల్ల భవిష్యత్తులో మరింత రోగనిరోధకత ఏర్పడే అదృష్టమూ లేదు. కాబట్టి ఉత్పరివర్తన అనేది ఎన్నో చిన్న చిన్న ప్రభావాలు పోగవ్వగా ఏర్పడే సంకలిత ప్రభావం కాదు. అదొక అనన్య, ఏకాంత ఘటన. వికిరణాల వల్ల ఒక క్రోమోజోమ్ లో జరిగే ఒక ప్రత్యేక ఘటన. ఇంతకీ ఏంటా ఘటన?

31. రెండవ ధర్మం. ఘటన యొక్క స్థాన నిర్ణయం

అది ఎలాంటి ఘటనో రెండవ ధర్మం తెలియజేస్తుంది.

(2) ఎక్స్-రే ల తరంగ దైర్ఘ్యాన్ని (wavelength) బాగా విశాలమైన పరిమితుల మధ్య (కాస్త మెతక ఎక్స్-రే ల దగ్గరి నుండి బాగా శక్తివంతమైన గామా కిరణాల వరకు) మారుస్తూ పోయినా కూడా, ఇందాక చెప్పుకున్న గుణకం మాత్రం స్థిరంగానే ఉంటుంది. అయితే మీరు ఇచ్చే వికిరణాల మోతాదు (dosage) మాత్రం మారకుండా ఉండాలి (= r యూనిట్లు). ఆ మోతాదుని కొలిచే విధానం ఇలా ఉండాలి. ఒక యూనిట్ ఘనపరిమాణం గల ప్రామాణిక పదార్థంలో, జనక జీవాల మీద వికిరణాలు ఎంత సేపు ప్రయోగించారో అంత సేపు, అదే స్థానంలో, వికిరణాలు ప్రయోగించగా మొత్తం ఎన్ని అయాన్లు ఉత్పన్నం అయ్యాయో దాన్ని బట్టి వికిరణాల మోతాదు నిర్ణయించాలి.

ప్రామాణిక పదార్థంగా మామూలుగా గాలినే ఎంచుకుంటారు. దానికి కారణం గాలి మీద పని చెయ్యడం అనువుగా ఉంటుంది. కాని ఇంకా లోతైన కారణం కూడా వుంది. గాలి యొక్క సగటు అణు భారం, జీవ ధాతువులలోని మూలకాల సగటు అణుభారానికి చాలా దగ్గరగా ఉంటుంది. జీవధాతువులో అయనీకరణల మొత్తం తెలుసుకోవాలంటే, గాలిలో అయనీకరణల మొత్తాన్ని రెండు పదార్థాల సాంద్రతల నిష్పత్తితో (=జీవధాతువు

సాంద్రత/గాలి సాంద్రత) గుణిస్తే వస్తుంది. కాబట్టి ఇందాక మనం వెతికిన ఉత్పరివర్తన కలుగజేసే ఏకాంత ఘటన మరేదో కాదు. అది బీజకణంలో, కీలక ఘనపరిమాణంలో జరిగిన ఒక అయనీకరణ ఘటన. ఈ విషయం కాస్త ఆలోచిస్తే స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది. పైగా తదనంతరం జరిగిన ప్రయోగాలు కూడా ఈ నిజాన్ని సమర్ధించాయి. అయితే ఆ కీలక ఘనపరిమాణం విలువ ఎంత? ఈ కింద ఇచ్చిన విశ్లేషణ బట్టి ఆ ఘనపరిమాణాన్ని సులభంగా అంచనా వెయ్యొచ్చు. ఒక ఘన సెంటీమీటరు ఘనపరిమాణంలో 50,000 అయాన్లు పుట్టినప్పుడు, ఒక బీజకణం ఉత్పరివర్తన చెందే సంభావ్యత 1/1000 అయితే, ఇందాక మనం వెతికిన కీలక ఘనపరిమాణం విలువ (1/1000)X(1/50,000) ఘన సెంటీమీటర్లు. ఈ విలువలు పూర్తిగా కచ్చితమైనవి కావు. కేవలం మచ్చుకి మాత్రం ఇక్కడ వాటిని పేర్కొంటున్నాను. మరింత కచ్చితమైన అంచనాలు ఎమ్. డెల్ బ్రుక్, ఎన్.డబల్యు. టిమొఫీఫ్, కె.జి. త్సిమ్మర్ లు రాసిన పత్రంలో ఇవ్వబడ్డాయి. ఆ వివరాలనే ఇకడ అనుసరిస్తున్నాను. అంతేకాక వచ్చే రెండు అధ్యాయాలలో విపులీకరించబోయే సిద్ధాంతానికి మూల వివరాలు కూడా అక్కడి నుండే తీసుకుంటున్నాను. ఆ పత్రంలో రచయితలు పది సగటు పరమాణు దూరాలు ఆధారంగా గల ఘనాన్ని తీసుకున్నారు. అందులో సుమారుగా 10 X 10 X 10 = 1000 పరమాణువులు పడతాయి. ఇందాక చెప్పిన ఫలితాన్ని సరళంగా ఇలా అన్వయించవచ్చు. క్రోమోసోమ్ లో ఒక ప్రత్యేక స్థానం నుండి కేవలం 'పది పరమాణువుల దూరంలో' ఎక్స్-రే ల వల్ల జరిగిన అయనీకరణ జరిగితే, ఆ క్రోమోజోమ్ లో ఆ స్థానంలో ఉత్పరివర్తన జరిగే అవకాశం చాలా ఎక్కువ. ఈ విషయాన్ని మరింత విపులంగా చర్చించుకుందాము.

టిమోఫీఫ్ నివేదికలో ఆచరణయోగ్య సూచన ఒకటి వుంది. ఈ సందర్భంలో ఆ విషయాన్ని ప్రస్తావించకుండా ఉండలేకపోతున్నాను. అయితే ఆ విషయానికి, మన ప్రస్తుత చర్చకి మధ్య ప్రత్యక్ష సంబంధం లేదనుకోండి. ఆధునిక జీవితంలో ఎన్నో సందర్భాలలో మనిషి

ఎక్స్-రే ప్రసరణకి గురి అవ్వక తప్పదు. దీని వలన వాతలు, కాన్సర్, వంధ్యత్వం మొదలైన ప్రత్యక్ష ప్రమాదాలు ఎన్నో ఉన్నాయి. అందుకే ఎక్స్-రేలకి రోజల్లా గురయ్యే వైద్యులకి, నర్సులకి రక్షణగా సీసపు తెరలు, సీసపు గుళ్లు దట్టించిన దుస్తులు మొదలైనవి ఏర్పాటు చేస్తారు. ఈ ప్రత్యక్ష ప్రమాదాలని ఎలాగోలా నివారించినా, బీజకణాలలో కలిగే హానికర ఉత్పరివర్తనలు పరోక్ష ప్రమాదాలు మాత్రం పొంచి వుంటాయని మర్చిపోకూడదు. దగ్గరి సంబంధాల వల్ల అవాంఛనీయ జన్యు పరిణామాలు ఎలా జరుగుతాయో ఇదీ అలాంటిదే. ఈ విషయాన్ని కాస్త నాటకీయంగా చెప్పాలంటే ఇలా చెప్పొచ్చు. మేనత్త, మేనమామల పిల్లల మధ్య జరిగే వివాహం వల్ల కలిగే హాని, వారి అమ్మమ్మ దీర్ఘకాలం ఎక్స్-రే విభాగంలో నర్సుగా పని చేయడం వల్ల మరింత తీవ్రతరం అవుతుంది. అయితే ఇది వ్యక్తిగతంగా మరీ విచారించవలసిన విషయం కాదు. కాని ఏ కారణం చేతనైనా మానవ జాతిలో క్రమంగా హానికరమైన ఉత్పరివర్తనలు పోగవుతూ ఉంటే, అలాంటి శక్తి గురించి బొత్తిగా పట్టించుకోకుండా ఉండలేం కదా?

4. క్వాంటం శాస్త్రం చెప్పే సాక్షం

32. సాంప్రదాయక భౌతికశాస్త్రం (జన్యువుల) శాశ్వతత్వాన్ని వివరించలేదు

ఆ విధంగా భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు, జీవశాస్త్రవేత్తలు చేతులు కలిపి కృషి చేస్తూ, ఆ ప్రయత్నంలో ఎక్స్-రే లని అద్భుతంగా వాడుకుంటూ జీవశాస్త్రంలో ఒక ముఖ్యమైన విషయాన్ని కనుక్కున్నారు. మనిషి రూపురేఖలని శాసించే అణురాశి యొక్క పరిమాణానికి చెందిన ఉన్నత పరిమితి (upper limit) మునుపు అనుకున్న దాని కన్నా బాగా చిన్నదని నిరూపించారు. (ఈ ఎక్స్-రే ల సహాయంతోనే మూడు దశకాల క్రితం స్ఫటికాలలో (crystals) జాలకంలా (lattice) ఏర్పడ్డ పరమాణు నిర్మాణాన్ని ఛేదించారు అన్న సంగతి భౌతిక శాస్త్రవేత్తలకి గుర్తుండే ఉంటుంది.) ఆ పరమాణు రాశికి "జీన్" (gene) అని పేరు పెట్టారు. ఇది మనిషి రూపురేఖలని శాసించే అతి చిన్న పరమాణు రాశి అన్నమాట. ఆ రాశి యొక్క పరిమాణం ఎంత ఉండాలి అన్న విషయంలో మునుపు చేసిన అంచనాలు విభాగం #19 లో ఇవ్వబడ్డాయి. ఎక్స్-రేల తో ఇటీవల కాలంలో చేసిన అధ్యయనాల వల్ల ఆ పరిమితుల అంచనాలు బాగా తగ్గాయి. ఇప్పుడు ఓ ముఖ్యమైన ప్రశ్న తలెత్తుతోంది. జీన్ లో అంత చిన్న సంఖ్యలో పరమాణువులు ఉన్నా (కొన్ని వేల సంఖ్యలో గాని, అంత కన్నా తక్కువ గాని ఉండొచ్చు), అంత క్రమబద్ధమైన ప్రవర్తనని కనబరుస్తూ, అంత అద్భుతమైన మన్నికని, శాశ్వతత్వాన్ని ఎలా ప్రదర్శించగలుగుతున్నాయి?

మనం ఎదుర్కుంటున్న సవాలు ఎంత అద్భుతమైనదో ఒక ఉదాహరణతో మీకు తెలియజేస్తాను. హాబ్స్ బర్గ్ వంశంలో ఎంతో మందిలో కింది పెదవిలో ఒక విధమైన వైకల్యం కనిపిస్తుంది. దాన్నే Habsburg Lip (హాబ్స్ బర్గ్ పెదవి) అంటారు. వియన్నా కి చెందిన 'రాజపీఠం' సభ్యులు ఆ వైకల్యం అనువంశికంగా సంక్రమించే తీరును ఎంతో క్షుణ్ణంగా అధ్యయనం చేసి, వారి ఫలితాలని ఎన్నో చారిత్రక చిత్తరువులతో సహా విపులంగా ప్రచురించారు. ఆ వైకల్యం కచ్చితంగా మెండెల్ వివరించిన జన్యు సిద్ధాంతానికి లోబడుతోంది. సామాన్య పెదవి యొక్క అలీల్ కి ఒక రూపాంతరం వల్ల ఇలాంటి వైకల్యం సంభవిస్తోంది. ఆ వంశస్థులలో పదహారవ శతాబ్దానికి చెందిన ఒక వ్యక్తిని, పందొమ్మిదవ శతాబ్దానికి చెందిన ఒక వ్యక్తిని తీసుకుంటే, వారి చిత్తరువుల బట్టి ఆ ఇద్దరిలోనూ ఆ వైకల్యం ఉందని అర్థమవుతుంది. ఆ వైకల్యం మాత్ర జన్యువుల ద్వార తరతరాలుగా వారసత్వంగా వస్తోందని నిస్సందేహంగా అనుకోవచ్చు. ఆ జన్యు నిర్మాణంలో పాలు పంచుకునే పరమాణు సంఖ్య కూడా ఇందాక ఎక్స్-రే ల ప్రభావాన్ని పరీక్షించిన జన్యువుల పరిమాణంలో సరితూగుతుంది. అన్ని తరాలుగా వస్తున్న ఆ జన్యు నిర్మాణం ఎప్పుడూ 98 డిగ్రీల ఫారెన్ హీట్ వద్ద ఉంచబడిందని కచ్చితంగా చెప్పొచ్చు. మరి అన్ని శతాబ్దాలుగా ఉష్ణచలనం యొక్క తాకిళ్లకి చెదరిపోకుండా తట్టుకుంటూ ఆ జన్యునిర్మాణం స్థిరంగా ఎలా నిలిచింది?

గత (పందొమ్మిదవ) శాతాబ్దపు చివరి దశలో భౌతికశాస్త్రవేత్తని ఈ ప్రశ్న అడిగితే అతడి వద్ద సమాధానం ఉండేది కాదేమో. అంతవరకు తనకి బాగా తెలిసిన ప్రకృతి ధర్మాల ఆధారంగా మాత్రమే తన వివరణ ఇవ్వడానికి ప్రయత్నించేవాడు. అయితే ఇది గణాంక భౌతిక శాస్త్రానికి సంబంధించిన సమస్య అని గుర్తించి దానికి సరైన సమాధానం ఇలా ఇచ్చేవాడేమో. 'ఈ భౌతిక నిర్మాణాలు అణువులే అయ్యుండాలి. ఆ అణువులలోని పరమాణువుల యొక్క అద్భుత స్థిరత్వం గురించి ఆ నాటికే రసాయన శాస్త్రం ఎంతో పరిజ్ఞానాన్ని సాధించింది. అయితే ఆ పరిజ్ఞానం పూర్తిగా అనుభవైక (experimental, empirical) జ్ఞానం మాత్రమే.

అప్పట్లో అణువు యొక్క తత్వం గురించి పూర్తి అవగాహన ఉండేది కాదు. అణువు లో పరమాణువుల మధ్య ఉండే బలమైన బంధాలు, ఆ అణువు యొక్క ఆకారాన్ని కుదురుగా ఎలా ఉంచుతాయో ఆ రోజుల్లో పెద్దగా ఎవరికీ అర్థమయ్యేది కాదు. కారణం తెలియకపోయినా సమాధానం మాత్రం సరైనదే. కాని దానికి పరిమితమైన విలువ మాత్రమే ఉంటుంది. ఎందుకంటే జీవశాస్త్రంలో కనిపించే స్థిరత్వాన్ని వివరించడానికి రసాయనశాస్త్రానికి చెందిన స్థిరత్వాన్ని వాడుకుంటున్నాం. కాని రెండూ మనకి విచిత్రాలుగానే మిగిలిపోయాయి. ఈ రెండు విచిత్రాల వెనుకా ఉండే రహస్యం ఒక్కటేనని చూచాయగా కనిపిస్తోంది. కాని దాన్ని కచ్చితంగా నిరూపించినంత వరకు ఆ రహస్యం రహస్యంగానే మిగిలిపోతుంది.

ఈ సందర్భంలో ఆ గుట్టుని క్వాంటం సిద్ధాంతం విప్పుతోంది. అనువంశిక యంత్రాంగానికి క్వాంటం సిద్ధాంతంతో సంబంధం ఉండడమే కాదు, అసలు ఆ సిద్ధాంతం యొక్క మూలాలతోనే లోతైన సంబంధం కలిగి వుంది. 1900 లో మాక్స్ ప్లాంక్ ఈ సిద్ధాంతాన్ని రూపొందించాడు. మెండెల్ రాసిన వ్యాసాన్ని డి వ్రీస్, కోరెన్స్, షెర్మాక్ లు ఆవిష్కరించడంతోను (1900లో), ఉత్పరివర్తనల మీద డివ్రీస్ రాసిన వ్యాసంతోను (1901-1903) ఆధునిక జన్యు శాస్త్రం పుట్టింది. ఆ విధంగా రెండు మహాశాస్త్రాల ఆవిర్భావం అనుకోకుండా ఏకకాలంలో జరిగింది. అయితే వాటి రెండిటి మధ్య సంబంధాన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి ఆ రెండూ మరింత పరిపక్వం చెందినంత వరకు ఆగాల్సి రావడంలో ఆశ్చర్యం లేదు. క్వాంటం సిద్ధాంతం పక్షాన చూస్తే ఒక పావు శాతాబ్ద కాలం ఆగాల్సి వచ్చింది. 1926-27 దరిదాపుల్లో రసాయన బంధం క్వాంటం మూలాలకి చెందిన సిద్ధాంతం యొక్క రూపురేఖలని డబల్యు. హైట్లర్, ఎఫ్. లండన్ లు చిత్రీకరించారు. క్వాంటం సిద్ధాంతపు పురోగతిలో ఇటీవలి కాలంలో జరిగిన అత్యంత సూక్ష్మమైన, జటిలమైన పరిణామాలన్నీ ఈ హైట్లర్-లండన్ సిద్ధాంతంలో అద్భుతంగా పొందుపరచబడ్డాయి. క్వాంటం సిద్ధాంతం యొక్క ఈ అధునాతన రూపాన్నే క్వాంటం యంత్రశాస్త్రం (Quantum mechanics) లేదా తరంగ

యంత్ర శాస్త్రం (Wave mehanics) అంటారు. క్యాల్కులస్ ఉపకరణాలని వాడకుండా ఆ సిద్ధాంతాన్ని వివరించడం ఇంచుమించు అసంభవం. వివరించే ప్రయత్నం చేసినా అందుకు ఇలాంటి మరో చిట్టిపుస్తకాన్ని పూరించాల్సి ఉంటుంది. కాని అదృష్టవశాత్తు ఇప్పుడు ఆ సిద్ధాంతం పరిపూర్ణంగా రూపొందించబడింది కనుక, దాని సహాయంతో 'క్వాంటం గంతులకి' ఉత్పరివర్తనలకి మధ్య సంబంధాన్ని వివరించడానికి వీలవుతోంది. అదే ఇక్కడ ప్రయత్నిస్తున్నాను.

**

34.క్వాంటం సిద్ధాంతం – వివిక్త స్థితులు – క్వాంటం గంతులు

ఏమిటంటే సాంప్రదాయక భౌతిక శాస్త్రం ప్రకారం అంతవరకు ప్రకృతిలో రాశులన్నీ అవిచ్ఛిన్నంగానే మారుతుంటాయ నమ్మేవారు. అలాంటి నేపథ్యంలో కొన్ని సందర్భంలో విచ్ఛిన్నత కూడా సహజమైనదే నని నిరూపించడం వైజ్ఞానిక చింతనలో క్వాంటం సిద్ధాంతం తెచ్చిన ఒక గొప్ప విప్లవం.

భౌతిక రాశులలో విచ్ఛిన్నత సహజంగా ఉంటుందని కనుక్కోబడ్డ రాశి శక్తి. బృహత్ స్థాయి వస్తువుల్లో శక్తి అవిచ్ఛిన్నంగా మారుతూ ఉంటుంది. ఊగడం మొదలెట్టిన లోలకం, గాలి నిరోధకత వల్ల క్రమంగా నెమ్మదించి ఒక దశలో పూర్తిగా నిలిచిపోతుంది. కాని విచిత్రం ఏమిటంటే పరమాణు స్థాయి వస్తువుల్లో ప్రవర్తన చాలా వేరుగా ఉంటుంది. కారణలు వివరించడం ఇక్కడ కొంచెం కష్టమే అయినా, సూక్ష్మ స్థాయి వ్యవస్థల్లో శక్తి కొన్ని వివిక్త (discrete) స్థాయిలలో మాత్రమే ఉంటుంది. వాటినే దాని 'నిజ శక్తి స్థాయిలు' అంటారు. ఒక శక్తి స్థాయి నుండి మరో శక్తి స్థాయి జరిగే మారుదల గుప్తంగా జరుగుతుంది. దాన్నే సామాన్యంగా 'క్వాంటం గంతు' అంటారు.

వ్యవస్థ యొక్క స్థితిని నిర్వచించే రాశి కేవలం శక్తి మాత్రమే కాదు. మళ్లీ మనకి బాగా తెలిసిన లోలకాన్నే తీసుకుందాం. కాని ఈ సారి చూరు నుండి వేలాడే భారీ బంతిని తీసుకుందాం. ముందుకు వెనక్కు మాత్రమే ఊగే లోలకంలా కాక, ఇది ఉత్తర – దక్షిణం గాను, తూర్పు-పడమర గాను, ఇలా ఏ దిశలోనైనా ఊగగలదు. అలాగే వృత్తాకారంలో గాని, దీర్ఘవృత్తాకారంలో గాని ఊగగలదు. ఆ బంతి మీద సున్నితంగా పంపుతో గాలి ఊదుతూ ఉంటే, దాన్ని అవిచ్ఛిన్నంగా ఒక స్థితి నుండి మరో స్థితిలోకి మారేలా చేయొచ్చు.

సూక్ష్మస్థాయి వ్యవస్థల్లో ఈ రాశులన్నీ విచ్ఛిన్నంగా మారుతాయి. అంటే క్వాంటీకరించబడుతాయి (quantized). శక్తిలాగే ఇవి కూడా వివిక్తమైన విలువలనే తీసుకుంటాయి.

ఈ నియమాల వల్ల ఏం జరుగుతుందంటే, కొన్ని పరమాణు కేంద్రకాల సముదాయం, వాటి చుట్టూ అంగరక్షకుల్లా పని చేసే ఎలక్ట్రాన్లతో పాటు, ఒక 'వ్యవస్థ'గా ఏర్పడినప్పుడు, అవి ఏ విన్యాసం పడితే ఆ విన్యాసాన్ని ఆక్రమించవు. అవి సహజంగా కొన్ని వివిక్త విన్యాసాలని మాత్రమే ఆక్రమించగలవు. ఆ విన్యాసాల సంఖ్య చాలా పెద్ద సంఖ్యే కావచ్చు. కాని అవి వివిక్త విన్యాసాలు అని గుర్తించాలి. వాటిని సామాన్యంగా స్థాయిలు అని, శక్తి స్థాయిలు అని వ్యవహరిస్తాము. ఎందుకంటే ఆ విన్యాసాల కూర్పులో శక్తి చాలా ముఖ్య పాత్ర పోషిస్తుంది. కాని సమగ్ర వర్ణనలో శక్తి మాత్రమే కాకుండా మరిన్ని రాశులు పాల్గొంటాయి. వ్యవస్థలోని రేణువుల యొక్క ఒక నియత విన్యాసాన్ని 'స్థితి' అనడం సబబుగా ఉంటుంది.

ఈ విన్యాసాలలో ఒక దాని నుండి మరొకదానికి జరిగే మారుదలనే క్వాంటం గంతు అంటాము. మొదటి విన్యాసం కన్నా రెండవ విన్యాసానికి శక్తి అధికంగ ఉంటే, ఆ మార్పు జరగడం కోసం ఆ వ్యవస్థకి బయటి నుండి శక్తి సరఫరా చెయ్యాలి. అలా సరఫరా చెయ్యాల్సిన శక్తి భేదం, సుమారుగా రెండు విన్యాసాల శక్తి స్థాయిల మధ్య అవుతుంది. రెండవ విన్యాసం యొక్క శక్తి తక్కువగా ఉంటే, ఆ మారుదల జరిగినప్పుడు వ్యవస్థ శక్తిని వికిరణాల రూపంలో వెలువరిస్తుంది.

35. అణువులు

ఒక పరమాణు సమూహం ఆక్రమించగల వివిధ విన్యాసాలలో సామాన్యంగా కనిష్ఠ శక్తి గల విన్యాసం ఒకటి ఉంటుంది. ఆ స్థితిలో ఆ పరమాణువుల కేంద్రకాలు బాగా దగ్గరిగా వస్తాయి. ఆ పరమాణువు పరస్పరం దగ్గరై అణువుగా ఏర్పడతాయి. ఇక్కడ ప్రత్యేకంగా చెప్పుకోవలసిన విషయం ఏమిటంటే ఆ అణువుకి నిశ్చయంగా కొంత స్థిరత్వం ఉంటుంది. ప్రత్యేక పరిస్థితులు ఏర్పడితే తప్ప ఆ అణువు ఆ స్థితిలో స్థిరంగా ఉంటుంది. ఆ స్థితిని మార్చాలంటే, దాని స్థితిని మరింత హెచ్చు శక్తి గల స్థితికి 'పైకెత్తాలంటే', శక్తి భేదాన్ని బయటి నుండి సరఫరా చెయ్యాలి. కాబట్టి ఆ శక్తి భేదం చాలా కచ్చితమైన రాశి అవుతుంది. అది అణువు యొక్క స్థిరత్వం ఏ స్థాయిలో ఉందో తెలుపుతుంది. ఈ వాస్తవానికి క్వాంటం సిద్ధాంతం యొక్క మూలాలతో ఎలాంటి సంబంధం వుందో సులభంగా గుర్తించగలము.

పైన ఇవ్వబడ్డ వాదనా క్రమం అంతా రసాయనిక ప్రయోగాల చేత క్షుణ్ణంగా నిర్ధారించబడిందని ఇక్కడ పాఠకులకి మనవి చేసుకుంటున్నాను. అణువు నిర్మాణం విషయంలో రసాయనిక valence, బంధ శక్తులు, వివిధ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద అణువు యొక్క స్థిరత్వం, మొదలైన లక్షణాలని ఈ సిద్ధాంతం సంతృప్తికరంగా వర్ణించగలిగింది. నేను

చెప్తున్నది హైట్లర్ – లండన్ సిద్ధాంతం గురించి. అయితే ఆ సిద్ధాంతాన్ని ఇక్కడ వివరంగా వర్ణించడం కుదరదు.

36. వాటి స్థిరత్వం ఉష్ణోగ్రత మీద ఆధారపడుతుంది

వివిధ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఒక అణువు ఎలాంటి స్థిరత్వాన్ని (stability) ప్రదర్శిస్తుంది అన్న ప్రశ్న గురించి ముందుగా చర్చించుకుందాము. మనం పరిగణించే అణువ్యవస్థ కనిష్ట శక్తి స్థాయిలో మొదట ఉందని అనుకుందాం. దీన్నే భౌతికశాస్త్రవేత్త "నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న అణువు" అంటాడు. దాన్ని తదుపరి ఉన్నత శక్తి స్థాయికి ఎత్తాలంటే దానికి ఒక నియత మోతాదులో శక్తి సరఫరా చెయ్యాలి. అలా చెయ్యాలంటే ఆ అణువుని వెచ్చ జేయాలి. దాన్ని మరింత ఉన్నత ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉండే పరిసరాలలో (ఉష్ణభాండారం, heat bath) ప్రవేశపెడితే, చుట్టూ ఉండే అణువులు, పరమాణువులు ఈ అణువుని ఢీకొంటూ ఉంటాయి. ఉష్ణచలనాలు కల్లోలంగా, గందరగోళంగా జరుగుతుంటాయి కనుక, ఒక ప్రత్యేక ఉష్ణోగ్రత వద్ద మన అణువుని కింది స్థాయి నుండి ఒక కచ్చితమైన పై స్థాయికి తీసుకువెళ్లగలం అని అనుకోలేము. పరిసరాల ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతున్న కొద్ది, అణువుని పై శక్తి స్థాయికి తీసుకెళ్లే సంభావ్యత పెరుగుతూ ఉంటుంది. ఆ అణువు కింది స్థాయి నుండి పై స్థాయిని చేరుకోడానికి ఎంత కాలం పడుతుంది, లేదా మనం ఎంత కాలం ఎదురుచూడాలి, అన్న రాశి ఆ సంభావ్యతకి అద్దం పడుతుంది. ఆ కాలానికే "నిరీక్షణ కాలం" (time of expectation) అని పేరు పెట్టుకుందాం.

ఎం. పోలాన్యీ, ఈ. విగ్నర్ లు చేసిన ఒక పరిశోధన ప్రకారం ఈ 'నిరీక్షణ కాలం' చాలా వరకు రెండు శక్తుల నిష్పత్తి మీద ఆధారపడుతుంది. ఆ శక్తులలో ఒకటి కింది స్థాయి నుండి పై

స్థాయికి చేరడానికి అవసరమైన శక్తి, అంటే రెండు స్థాయిలలోని శక్తుల మధ్య భేదం అన్నమాట. దాన్ని W అక్షరంతో సూచిద్దాం. ఇక రెండవ శక్తి నియత ఉష్ణోగ్రత, T, వద్ద ఉష్ణచలనాల తీవ్రతని సూచించే శక్తి. ఆ శక్తిని kT తో సూచిస్తారు. (ఇక్కడ T నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రత (absolute temperature) అని గుర్తుంచుకోవాలి.) కాబట్టి పైన చెప్పుకున్న నిష్పత్తి W/kT అవుతుంది. దీన్ని బట్టి మనకి ఒక సత్యం అర్థం అవుతుంది. సగటు ఉష్ణ శక్తి (kT) కన్నా రెండు స్థాయిల శక్తుల మధ్య భేదం (W) బాగా ఎక్కువైతే, కింది శక్తి స్థాయి నుండి పై శక్తి స్థాయికి ఉద్ధతి (lift) జరిగే అవకాశం అంత మేరకు తక్కువగా ఉంటుంది. ఆ కారణం చేత ఆ ఉద్ధతి జరగడానికి నిరీక్షణ కాలం కూడా అంత మేరకు ఎక్కువగానే ఉంటుంది. W/kT నిష్పత్తిలో వచ్చే చిన్న చిన్న మార్పుల మీద కూడా నిరీక్షణ కాలం ఎంత సునిశితంగా ఆధారపడి ఉంటుందో చూస్తే ఆశ్చర్యం కలుగుతుంది. డెల్బ్రుక్ చేసిన సూచనల ప్రకారం కొన్ని ఉదాహరణలు తీసుకుందాం. W/kT విలువ 30 అయితే నిరీక్షణ కాలం విలువ 1/10 సెకను మాత్రమే కావచ్చు. కాని W/kT విలువ 50 అయితే, నిరీక్షణ కాలం విలువ 16 నెలలకి పెరుగుతుంది. ఇంకా W/kT విలువ 60 అయితే, నిరీక్షణ కాలం విలువ 30,000 ఏళ్లకి పెరిగిపోతుంది!

37. గణిత విరామం

శక్తి స్థాయిలో మార్పు వచ్చే సంభావ్యత ఉష్ణోగ్రత మీద అంత సునిశితంగా ఎందుకు ఆధారపడుతుందో గణితపరంగా వివరించడం ఇక్కడ సమంజసం అనుకుంటాను. దానికి

కారణం నిరీక్షణ కాలం, t, కి, W/kT కి మధ్య సంబంధాన్ని తెలిపే ప్రమేయం exponential ప్రమేయం. ఆ సంబంధాన్ని ఈ విధంగా వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు.

$$t = t_0 \exp(-W/kT)$$

ఇక్కడ to అనేది ఒక చిన్న స్థిరాంకం. దాని విలువ రమారమి 10^{-13} - 10^{-14} సెకనులు ఉంటుంది. ఈ సందర్భంలో మనం వాడిన exponential ప్రమేయం యాదృచ్ఛికంగా రాలేదు. అది ఉష్ణ గణాంక సిద్ధాంతం (statistical theory of heat) పదే పదే తారసపడుతూ, ఆ సిద్ధాంతానికి వెన్నెముకలా పని చేస్తుంది. వ్యవస్థలో ఏదైనా ఒక బిందువు వద్ద W అంత పెద్ద ఎత్తులో శక్తి పోగవడంలోని అసంభావ్యత ఎంతో ఆ ప్రమేయం తెలుపుతుంది. ఆ శక్తి సగటు ఉష్ణశక్తి (kT) కన్నా మరిన్ని రెట్లు ఎక్కువ అయినప్పుడు అంత శక్తి పోగవడంలోని అసంభావ్యత ఆ ప్రమేయం తెలుపుతుంది. అసలు W/kT = 30 విలువే అత్యంత అరుదుగా తారసపడుతుంది. అయినా కూడా దానికి సంబంధించిన నిరీక్షణ కాలం అంత పెద్దది కాకపోవడానికి (=1/10 సెకనులు మాత్రమే) కారణం t_0 అనే కారాణాంకం విలువ అతి సూక్ష్మమైనది కావడమే. వ్యవస్థలో జరిగే ప్రకంపనల యొక్క ఆవర్తనకాలం (time period) ఏ స్థాయిలో ఉందో ఆ విలువ సూచిస్తుంది. ఆ కారణాంకంలోని అంతరార్థాన్ని ఈ విధంగా వివరించవచ్చు. W అనే శక్తిని పోగుచేసుకునే సంభావ్యత చాలా చిన్న విలువే అయినా, అది ప్రతీ ప్రకంపనకి ఒక సారి, - అంటే క్షణానికి 10^{13} నుండి 10^{14} సార్లు అన్న మాట, - పదే పదే సంభవిస్తూ ఉంటుంది.

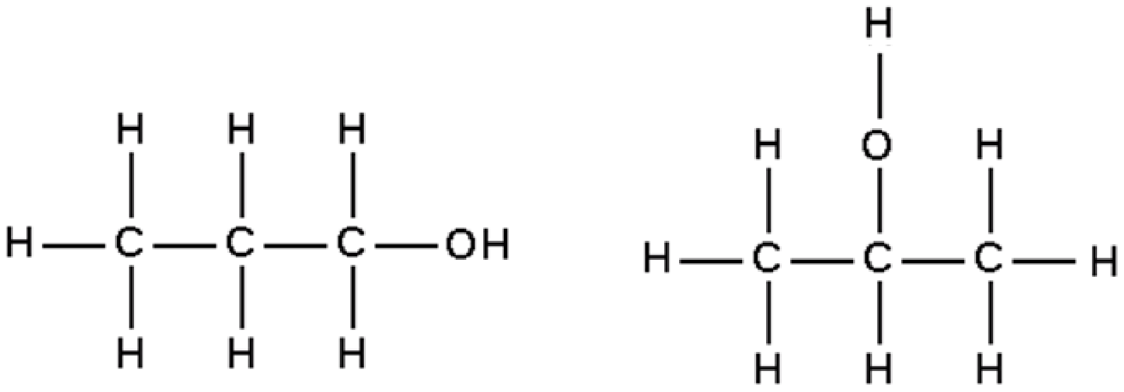
38. మొదటి సవరణ

అణువు యొక్క స్థిరత్వానికి సంబంధించిన ఈ రకమైన సిద్ధాంతాన్ని మీ ముందు ఉంచుతున్న ఈ నేపథ్యంలో ఒక విషయం స్పష్టం చెయ్యాలి. క్వాంటం గంతు (quantum jump) అని, 'ఉద్ధతి' (lift) అని ఇంతవరకు చెప్పుకున్న అణు చర్యలలో అణువు పూర్తిగా విచ్ఛిన్నం కావడం లేదని, అది కేవలం అదే పరమాణువులతో కూడుకున్న మరో అణువిన్యాసాన్ని పొందుతోందని గుర్తుంచుకోవాలి. ఇలాంటి పరిణామాన్నే రసాయన వేత్తలు అణు సాదృశ్యత (isomerism) అంటారు. (జీవశాస్త్ర సందర్భంలో ఈ పరిణామం ఒకే స్థానం (locus) వద్ద ఉండే భిన్న అలీల్ (allele) ని సూచించవచ్చు. అప్పుడు జరిగే క్వాంటం గంతే ఉత్పరివర్తన (mutation) కావచ్చు.) ఈ అన్వయం నిజం కావాలంటే ఇంతవరకు మనం అనుకున్న కథనంలో రెండు విషయాలని కొద్దిగా సవరించాల్సి ఉంటుంది. అది సులభంగా అర్థం కావడం కోసం దాన్ని బాగా సరళీకరించాను. ఇంతవరకు నేను వర్ణించిన తీరు ప్రకారం ఒక పరమాణువుల సముదాయం దాని కనిష్ఠ శక్తి స్థితిలో ఉన్నప్పుడే అది మనం మామూలుగా చెప్పుకునే అణువుగా ఏర్పడుతుందని, కనిష్ఠ స్థితి కన్నా మరింత హెచ్చు శక్తిగల స్థితిలో ఉన్నప్పుడు అది 'మరేదో' అవుతుందని అనిపిస్తుంది. కాని వాస్తవంలో అలా జరగదు. కనిష్ఠ స్థితికి పైన కుప్పలు తెప్పలుగా స్థితులు ఉంటాయి. వాటికి చెందిన అణువిన్యాసంలో పెద్దగా భేదం ఉండదు. వాటిలోని పరమాణువుల ప్రకంపనలలోనే కొద్దిగా తేడా వస్తుందంతే. ఆ స్థితులన్నీ కూడా క్వాంటీకృతం (quantise) అవుతాయి. వాటిలో ఒక స్థితికి తదుపరి స్థితికి మధ్య చిన్న చిన్న మెట్లే ఉంటాయి. ఉష్ణభాండారం (heat bath) లోని రేణువుల యొక్క అభిఘాతాలు చాలు ఆ అణువుని అతి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద నిలపడానికి. ఆ అణువు విశాలమైన కాయం గలదైతే ఈ ప్రకంపనలని అధిక పౌనఃపున్యం గల శబ్ద తరంగాలుగా ఊహించుకోవచ్చు. ఆ తరంగాలు అణువుకి ఏ విధంగాను హాని చెయ్యకుండా దాని లో నుండి ప్రసారమై దాటిపోతాయి. కాబట్టి మొదటి సవరణ పెద్దగా

విచారించదగ్గ సవరణ ఏమీ కాదు. శక్తి స్థాయిలలో ప్రకంపనల వల్ల కలిగే సూక్ష్మ స్థాయిలని – ప్రకంపనాత్మక సూక్ష్మ స్థాయిలని (vibrational fine structure) – నిర్లక్ష్యం చేశాం అంతే. కాబట్టి 'తదుపరి ఉన్నత శక్తి స్థాయి' అన్నప్పుడు అణువిన్యాసం చెప్పుకోదగ్గ తేడా వున్న శక్తి స్థాయి గురించి ప్రస్తావిస్తున్నామని అర్థం చేసుకోవాలి.

39. రెండవ సవరణ

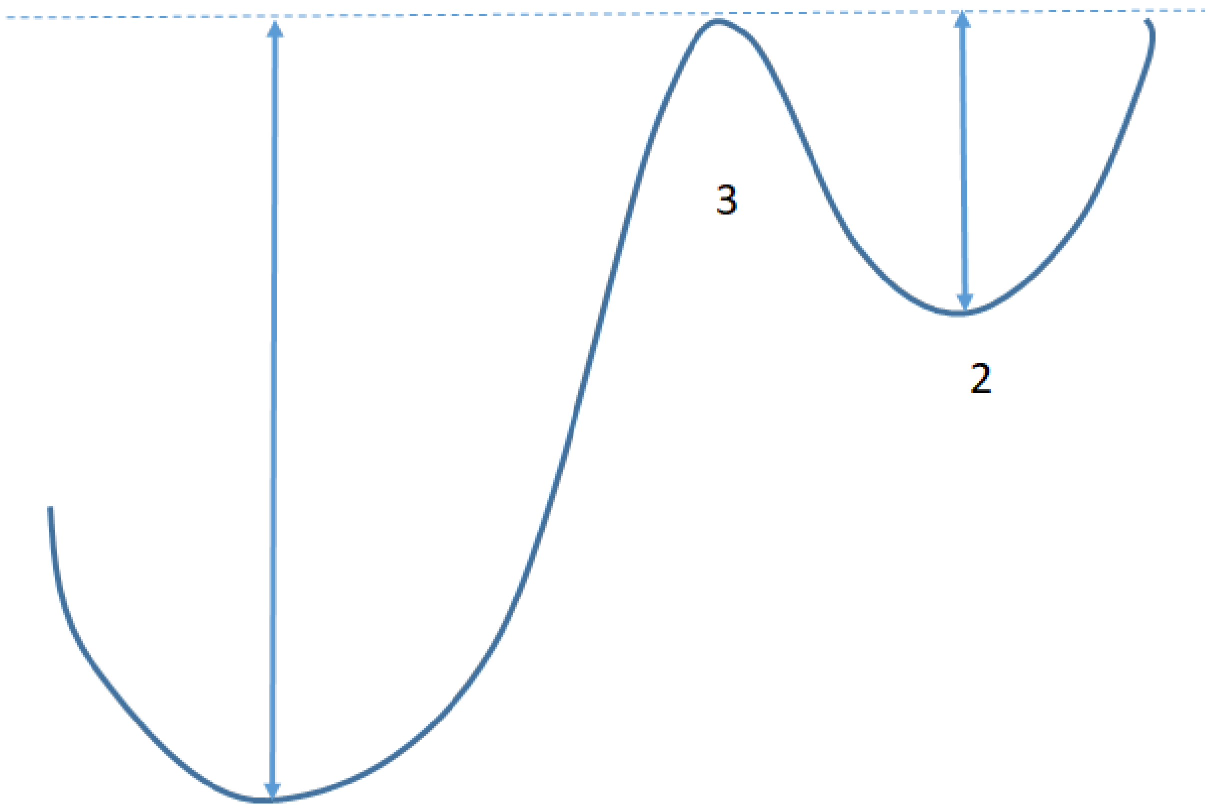
ఇక రెండవ సవరణని వివరించడం మరింత కష్టం. ఎందుకంటే అది విభిన్న శక్తి స్థాయిల యొక్క కొన్ని సంక్లిష్టమైన లక్షణాలకి సంబంధించినది. కొన్ని సార్లు ఒక అణువు కింది స్థితి నుండి పై స్థితి పోయే మార్గంలో అవరోధాలు ఏర్పడవచ్చు. ఆ మార్పు కోసం అవసరమైనంత శక్తి లభ్యమై ఉందా లేదా అన్నది మాత్రమే ఇక్కడ సమస్య కాదు. కొన్ని సార్లు పై స్థాయి నుండి కింది స్థాయికి మారడంలో కూడా అడ్డంకులు ఎదురవుతాయి. ఈ విషయంలో వాస్తవాలు ఏమంటున్నాయో గమనిద్దాం. ఒక పరమాణు సముదాయం రకరకాల విన్యాసాలలో కలిసి వివిధ అణువులని ఏర్పాటు చెయ్యగలవని రసాయనవేత్తకి బాగా తెలుసు. అలాంటి అణువులనే 'సాదృశ్య' (isomers) అణువులు అంటారు. అంటే ఒకే విడి భాగాలు కలవి అని అర్థం. అణుసాదృశ్యత అరుదుగా జరిగే విడ్డూరం కాదు. అది సర్వసామాన్యంగా జరిగే పరిణామం. అణువు ఎంత పెద్దది అయితే, దాని సదృశ రూపాలు అంత ఎక్కువగా ఉంటాయి. చిత్రం 11 లో అతి చిన్న అణువుని ఉదాహరణగా చిత్రించడం జరిగింది. ప్రొపిల్ ఆల్కహాల్ యొక్క రెండు రూపాంతరాలు ఇక్కడ చూపించబడుతున్నాయి. వాటిలో ఒక్కొక్క దాంట్లో 3 కార్బన్ లు (C), 8 హైడ్రోజన్ లు (H), 1 హైడ్రోజెన్ (O) ఉన్నాయి. ఈ ఆఖరు పరమాణువుని ఏదైనా హైడ్రోజెన్ కి, దానికి చెందిన కార్బన్ కి మధ్యన నిక్షేపించవచ్చు.



చిత్రం 11: ప్రోపిల్ ఆల్కహాల్ యొక్క రెండు అణుసదృశ రూపాంతరాలు (isomers)

కాని చిత్రంలో సూచించబడ్డ రెండు విన్యాసాలు మాత్రమే వేరువేరు రసాయనాలకి సంబంధించినవి. ఆ రెండు రసాయనాల తత్వం పూర్తిగా వేరు. వాటి భౌతిక, రసాయనిక స్థిరాంకాలలో చెప్పుకోదగ్గ భేదం వుంది. వాటి శక్తులలలో కూడా బాగా తేడా వుంది. కాబట్టి వాటి శక్తి స్థాయిలు కూడా బాగా వేరు. కాని ఇక్కడ గమనించదగ్గ విషయం ఏమిటంటే ఆ రెండు అణువులు స్థిరమైనవే. రెండూ కనిష్ఠ శక్తి స్థితులకి చెందినట్టు ప్రవర్తిస్తాయి. ఒక స్థితి నుండి మరొక స్థితికి అప్రయత్నంగా మార్పిడులు జరగవు. దానికి కారణం ఆ రెండు విన్యాసాలు ఇరుగుపొరుగు విన్యాసాలు కావు. ఒక దాని నుండి మరొక దానికి మార్పిడి జరగాలంటే, అది ఆ రెండిటి కన్నా అధిక శక్తి గల మధ్యంతర విన్యాసాల మీదుగానే జరగాలి. చిత్రం 12 లో ఈ సమస్యని రేఖాత్మకంగా వ్యక్తం చెయ్యడం జరిగింది. చిత్రం లో 1, 2 రెండు అణుసాదృశ్యాలు. ఆ రెండిటి మధ్య ఉండే ఒక 'గడప' (threshold) ని 3 లో చిత్రీకరించడం జరిగింది. రెండు బాణాలు రెండు 'ఉద్ధతుల'ని సూచిస్తున్నాయి. స్థితి 1 నుండి స్థితి 2 ని చేరుకోడానికి అవసరమైన శక్తిని ఒకటి సూచిస్తే, స్థితి 2 నుండి స్థితి 1 ని చేరుకోడానికి అవసరమైన శక్తిని రెండవది సూచిస్తుంది. ఇప్పుడు మన రెండవ సవరణ ఏమిటో తెలపడానికి సిద్ధంగా వున్నాము. మనం ఇక్కడ చర్చిస్తున్న జీవశాస్త్ర సందర్భంలో

అణుసదృశమైన రూపాంతరాలనే (isomers) మనం ముందు చర్చించుకోబోతున్నాం. అంతకు ముందు స్థిరత్వం గురించి చెప్పుకున్నప్పుడు కూడా వీటిని గురించే మనం ప్రస్తావించాము. ఒక స్థిరమైన అణువిన్యాసం నుండి మరో స్థిరమైన అణువిన్యాసానికి జరిగే మార్పిడినే మనం ఇక్కడ క్వాంటం గంతు అని చెప్పుకుంటున్నాము. ఆ మార్పిడికి కావలసిన శక్తి (దాన్ని W అక్షరంతో సూచిస్తారు) రెండు స్థితుల మధ్య శక్తి భేదం కాదు. ఆరంభ స్థితి నుండి 'గడప'ని దాటడానికి కావలసిన శక్తిని అది సూచిస్తుంది. ఆరంభ స్థితికి, చరమ స్థితికి మధ్య గడప లేని మార్పిడులు అంత ఆసక్తికరమైనవి కావు. ఆ సత్యం వర్తించేది మన ప్రస్తుత జీవశాస్త్ర సందర్భంలో మాత్రమే కాదు. ఎందుకంటే అలాంటి మార్పిడుల వల్ల రసాయన స్థిరతకి ఒరిగేది ఏమీ ఉండదు. అలా ఎందుకు జరుగుతుంది? వాటి ప్రభావం దీర్ఘకాలం నిలవదు. ఆ మార్పిడులు గుర్తుతెలియకుండా జరిగిపోతాయి. అవి జరిగినా కూడా రక్కున ఆరంభ స్థితికి తిరిగి చేరుకుంటాయి. ఎందుకంటే అలాంటి తిరోగమనాన్ని అడ్డుకోడానికి ఏమీ ఉండదు.



చిత్రం 12: 1 మరియు 2 అనే రెండు అణుసదృశ రూపాంతరాల మధ్య గడప శక్తి (3). ఒక రూపాంతరం నుండి రెండవ రూపాంతరానికి మార్పుని సాధించడానికి అవసరమైన కనీస శక్తిని బాణాలు సూచిస్తున్నాయి.

5. డెల్బ్రూక్ నమూనా – దాని పరీక్ష, చర్చ

40. అనువంశిక పదార్థం పట్ల మన అవగాహనలో మొదటి మెట్టు

పైన చర్చించుకున్న వాస్తవాల బట్టి మనం తొలుత వేసిన ప్రశ్నకి సమాధానం ఇలా దొరుకుతుంది – అనువంశిక పదార్థంలోని నిర్మాణాలలో పరమాణువులు చిన్న సంఖ్యలో ఉంటాయా? దీర్ఘ కాలం ఉష్ణచలనాల ప్రభావానికి తట్టుకుని అవి మనగలవా? దీని సమాధానంగా జన్యు నిర్మాణం ఒక భారీ అణువు అనే నిర్ణయానికి రావలసి ఉంటుంది. అందులో వచ్చే మార్పులు గణనీయమైనవి, విచ్ఛిన్నమైనవి మాత్రమే కాగలవు. ఆ మార్పుల వల్ల అణువులోని పరమాణువులు కొత్త విన్యాసంలో అమరడం వల్ల అణుసదృశ రూపాంతరాలు (isomers) ఏర్పడతాయి. అలాంటి రూపాంతరీకరణ జన్యువులో ఒక చిన్న భాగానికి మాత్రమే పరిమితం కాగలదు. ఒక అణువిన్యాసానికి దాని యొక్క అణుసదృశ రూపాంతరానికి మధ్య పెద్ద శక్తి గడప (energy threshold) ఉండి ఉండాలి. పరిసరాలలోని ఉష్ణశక్తితో పోలిస్తే ఆ శక్తి గడప విలువ చెప్పుకోదగ్గదిగా ఉండాలి. అప్పుడే ఆ మార్పిడి అరుదైన సంఘటన అవుతుంది. ఈ అరుదైన సంఘటనలే అప్రయత్న ఉత్పరివర్తనలని (spontaneous mutations) నా అభిప్రాయం. ఈ అధ్యాయం యొక్క తదుపరి భాగాలలో జన్యువు యొక్క, ఉత్పరివర్తనల యొక్క ఈ సామాన్య దృక్పథాన్ని (ఈ దృక్పథానికి మూలకర్త జర్మన్ భౌతికశాస్త్రవేత్త ఎం. డెల్బ్రూక్) జన్యు శాస్త్ర వాస్తవాలతో పోల్చుతూ,

పరీక్షించడం జరుగుతుంది. అలా పరీక్షని మొదలుపెట్టే ముందు పైన చెప్పుకున్న సిద్ధాంతం యొక్క తత్వం గురించి, దాని మూలాల గురించి కొన్ని ప్రాథమిక వ్యాఖ్యానాలు చెయ్యాలి.

41. ఈ సిద్ధాంతం యొక్క ప్రత్యేకత, అనన్యత

ఈ జీవశాస్త్ర సమస్య లోతుల్లోకి చివరి కంటా తవ్వుకుంటూ పోతే, అలా ఏర్పడే సిద్ధాంతాన్ని క్వాంటం యంత్రశాస్త్ర పునాదుల మీద స్థాపించక తప్పదా? జన్యువు ఒక అణువు అన్న భావన ఇప్పుడు సర్వసామాన్యంగా వినిపిస్తుంది. క్వాంటం సిద్ధాంతం గురించి పెద్దగా తెలియని జీవశాస్త్రవేత్తలు కూడా ఆ భావనతో విభేదించరు. **** అవ పేజీలో పై భావజాలాన్ని ఒక పూర్వక్వాంటం భౌతిక శాస్త్రవేత్త నోటివెంట వినిపింపజేసే ప్రయత్నం చేశాం. జన్యువుల విషయంలో కనిపించే శాశ్వతత్వానికి కారణాన్ని ఆ విధంగా వివరింపజేశాం. ఇక అణుసాదృశ్యం గురించిన ప్రస్తావన, గడప శక్తి (threshold energy), W/kT నిష్పత్తికి అణుసాదృశ్య విన్యాసాల మధ్య మార్పిడుల సంభావ్యతకి మధ్య సంబంధం – మొదలైన విషయాలన్నిటినీ క్వాంటం సిద్ధాంతం ఆధారం లేకుండానే, కేవలం ప్రయోగఫలితాలని ఆధారంగా చేసుకుంటూ చర్చించుకోవచ్చు. కాని ఈ సందర్భంలో నేను క్వాంటం సిద్ధాంతాన్నే పదే పదే సమర్ధిస్తూ ఎందుకు మాట్లాడూతున్నానో వివరించడానికి ఈ చిట్టి పుస్తకం సరిపోదు. క్వాంటం సిద్ధాంతాన్ని నేను సమర్ధించే తీరు పాఠకులకి విసుగు పుట్టించి ఉండొచ్చు కూడా. ప్రకృతిలో మనకి తారసిల్లే అన్ని రకాల పరమాణు కూటముల యొక్క మూల సూత్రాలని వివరించే మొట్టమొదటి సైద్ధాంతిక ప్రయత్నం క్వాంటం శాస్త్రం. హైట్లర్ – లండన్ (Heitler - London) రసాయన బంధం ఈ సిద్ధాంతం యొక్క ఒక ప్రత్యేక ముఖం. అది కేవలం రసాయన బంధాన్ని వివరించడం కోసం ప్రతిపాదించబడ్డ సిద్ధాంతం కాదు. కొన్ని విచిత్రమైన, అనూహ్యమైన పరిస్థితుల్లో, కొన్ని అనుకోని కారణాల వల్ల ఆ

సిద్ధాంతాన్ని మనం గ్రహించవలసి వస్తుంది. ప్రయోగాలలో కనిపించే రసాయనిక వాస్తవాలతో అది కచ్చితంగా సరిపోతుంది. ఇది కేవలం ఒక ప్రత్యేక పరిణామం మాత్రమే. క్వాంటం సిద్ధాంతంలో ముందు ముందు జరగబోయే పరిణామాలలో ఇలాంటిది మళ్లీ రాదు అని నమ్మకంగా చెప్పగలం. ఈ వాదోపవాదాల బట్టి జన్యు పదార్థం గురించి అణు సిద్ధాంతం తప్ప మరో మార్గాంతరం లేదని రూఢిగా చెప్పడానికి వీలవుతోంది. జన్యు పదార్థం భౌతిక పదార్థం కనుక, దాని శాశ్వతత్వాన్ని వివరించడం కోసం మరో మార్గాంతరం కనిపించడం లేదు. డెల్ బ్రుక్ అందించిన ఈ భావజాలం విఫలమైతే, ఈ దిశలో ఇంకా ముందుకు పోవడం అనవసరం అని ఒప్పుకోవాలి అన్న విషయాన్ని మాత్రం ఇక్కడ స్పష్టం చేయదలచుకున్నాను.

42. కొన్ని పాతకాలపు అపోహలు

ఈ సందర్భంలో మనం ఒక ప్రశ్న అడగొచ్చు. పరమాణువులతో కూడుకున్న స్థిరమైన నిర్మాణాలు అణువులు తప్ప మరింకేమీ లేవా? సమాధిలో పూడ్చబడ్డ బంగరు నాణెం మీద వేసిన ముద్ర కొన్ని వేల ఏళ్ల పాటు స్థిరంగా నిలిచిపోదూ? నాణెంలో అసంఖ్యాకమైన పరమాణువులు ఉన్నాయన్నది నిజమే అయినా, నాణెం యొక్క ఆకృతిలోని స్థిరత్వానికి కారణం కేవలం దాని పరమాణువుల సంఖ్యకి చెందిన గణాంకాలని అనలేము. అదే విధంగా శిలలో నిక్షిప్తమై, తీరుగా ఏర్పడ్డ స్ఫటికల విషయంలో కూడా వ్యాఖ్యానించొచ్చు. ఆ స్ఫటికలు భౌగోళిక కాలమానంలో యుగయుగాలుగా స్థిరంగా నిలిచిపోతాయి. ఇక్కడ నేను వివరించదలచుకున్న రెండవ విషయానికి వస్తాను. అణువు యొక్క పరిస్థితి, ఘనరూపంలో స్ఫటిక యొక్క పరిస్థితి రెండూ వేరు వేరు కాదు. ప్రస్తుత విజ్ఞానం బట్టి చూస్తే

రెండు ఇంచుమించు అభిన్నం. దురదృష్ట వశాత్తు పాఠశాలలో వైజ్ఞానిక బోధనలో ఇంకా ఎన్నో ఛాందస భావాలే చలామణి అవుతున్నాయి. ఎంతో కాలం క్రితమే కాలం చెల్లిన ఆ భావాలు వర్తమాన కాలంలో మన అవగాహనకి అడ్డుపడుతున్నాయి. బళ్లో మనం అణువుల గురించి నేర్చుకున్న దాని బట్టి చూస్తే, అణువులు ద్రవ దశ కన్నా, వాయు దశ కన్నా ఘన దశకి మరింత సన్నిహితంగా ఉంటాయన్న ఆలోచన మనకి కలుగదు. పైగా భౌతికమైన మార్పుకి, రసాయనిక మార్పుకి మధ్య తేడా గుర్తించాలని మనని హెచ్చరిస్తుంటారు. ఉదాహరణకి C_2H_6O అనే రసాయనిక సూత్రం గల ఆల్కహాలు ఘన దశలో ఉన్నా, ద్రవ, వాయు దశలో ఉన్నా దాని అణునిర్మాణంలో మార్పు రాదని, అది భౌతిక మార్పని, గుర్తుచేస్తుంటారు. అదే విధంగా ఆల్కహాలు మండించినప్పుడు

$$C_2H_6O + 3\ O_2 = 2\ CO_2 + 3\ H_2O$$

అవుతుంది గనుక, ఈ సందర్భంలో ఒక ఆల్కహాల్ అణువు, మూడు ఆక్సిజన్ అణువులతో కలిసినప్పుడు, రెండు కార్బన్ డయాక్సయిడ్ అణువులు, మూడు నీటి అణువులు ఏర్పడతాయని, అలా జరిగేది రసాయన చర్య అని గుర్తుచేస్తుంటారు. అలాగే స్ఫటికల విషయంలో అవి మూడు మితులలో (three dimensions) ఆవర్తనీయత (periodicity) గల గడికట్లని (lattices) ఏర్పాటు చేసినప్పుడు, కొన్ని సందర్భాలలో (ఉదాహరణకి ఆల్కహాల్ విషయంలో) వాటికి ఆధారంగా గల అణువుని గుర్తించడానికి వీలవుతుంది. అలాగే మరి కొన్ని కర్బన రసాయనాలలో కూడా సాధ్యమవుతుంది. అందుకు భిన్నంగా ఉప్పు, NaCl, విషయంలో ఆ స్ఫటిక యొక్క గడికట్టులో ఆ అణువుని గుర్తించడం కష్టం. ఎందుకంటే ప్రతీ Na అణువు చుట్టూ సౌష్టవంగా ఆరు Cl అణువులు ఏర్పాటై ఉంటాయి. కాబట్టి ఏ Na పరమాణువుకి జంటగా ఏ Cl పరమాణువు ఉందో చెప్పడం కష్టం అవుతుంది. ఇక చివరిగా ఘన పదార్థం స్ఫటికాకారంలో ఉండని పరిస్థితులు కూడా

ఉంటాయని, అప్పుడవి అస్ఫాటిక (amorphous) స్థితిలో ఉన్నట్టుగా చెప్తారని కూడా మనకి తెలుసు.

43. పదార్థం యొక్క దశలు

అలాగని ఇంతవరకు పైన చేసిన ప్రకటనలు, ఎత్తి చూపిన భేదాలు అన్నీ అబద్ధాలని అనడం లేదు. వ్యావహారిక ప్రయోజనాల దృష్ట్యా అవన్నీ అవసరమైనవే. పదార్థం యొక్క నిర్మాణాన్ని నిజంగా అర్థం చేసుకోవాలంటే మన పరిమితులని మరో విధంగా నిర్వచించుకోవాలి. ఆ భేదం ఏమిటో తెలియజెప్పాలంటే ఈ కింద ఇవ్వబడ్డ రెండు సమీకరణాలలోని భేదాన్ని అర్థం చేసుకోవాలి.

అణువు = ఘనం = స్ఫటిక

వాయువు = ద్రవం = అస్ఫాటిక

పై వాక్యాలని (లేదా సమీకరణాలని) ఇక్కడ కాస్త వివరించాలి. మనం అస్ఫాటిక ఘనాలు (amorphous solids) అని చెప్పుకునే పదార్థాలు నిజానికి మరీ అంతగా అస్ఫాటికం కాకపోయినా కాకపోయి ఉండాలి, లేదా ఘనపదార్థాలు అయినా కాకపోయి ఉండాలి. ఉదాహరణకి అస్ఫాటిక బొగ్గు లోని తంతులనే (fibers) తీసుకుంటే వాటిలో గ్రాఫైట్ స్ఫటికలో ఉండే అణునిర్మాణం కొంతవరకు కనిపించింది. ఆ విషయం ఎక్స్ – రే లతో శోధించిన మీదట తెలిసింది. కాబట్టి బొగ్గు ఘనపదార్థమే కాక స్ఫటికరూపం కలది కూడా. అలా సిసలైన స్ఫటికాకృతి లేని పదార్థాలని ఘన పదార్థాలు అనడానికి లేదు. అవి అత్యధిక

స్నిగ్ధత (viscosity, జిగటతనం) గల ద్రవాలని అనుకోవలసి ఉంటుంది. అది నిజమైన ఘనపదార్థం కాదని దానికది రెండు విధాలుగా తేటతెల్లం చేసుకుంటుంది. అది కరుగుతున్నప్పుడు ఒక నిర్దిష్టమైన ఉష్ణోగ్రత వద్ద కరగదు. అంటే దానికి కచ్చితమైన 'కరుగు స్థానము' (melting point) ఉండదు. అలాగే కచ్చితమైన గుప్తోష్ణం (latent heat) కూడా ఉండదు. దాన్ని వేడి చేసినప్పుడు అది క్రమంగా మెత్తబడుతుంది. నిజమైన ఘనపదార్థాలలో జరిగినట్టు తటాలున ఒక ఉష్ణోగ్రత వద్ద కరగదు. (ఈ సందర్భంలో నాకొక సంఘటన గుర్తొస్తోంది. మొదటి ప్రపంచ యుద్ధం చివర్లో మాకు వియన్నాలో కాఫీకి బదులుగా అస్ఫాల్ట్ ని పోలిన ఒక పదార్థం ఇచ్చేవాళ్లు. కత్తినో, ఉలినో వాడి ఆ పదార్థాన్ని చిన్న ముక్కలుగా కోయవలసి వచ్చేది. అలా కోసినప్పుడు ఆ కోత వల్ల బట్టబయలు అయిన ఉపరితలం చాలా నునుపుగా, గవ్వలా ఉండేది. అంటే అది ఘనపదార్థం అన్న భ్రమ కలిగించేది. కాని ఆ ముక్కని పొరపాట్న ఓ కప్పులో వదిలేసి రెండు రోజుల తరువాత వచ్చి చూస్తే అది ఆ కప్పు అడుగున మొత్తం విస్తరించి గట్టిపడిపోతుంది. అంటే అక్కడ దాని ద్రవపు ముఖాన్ని చూపిస్తోంది అన్నమాట.) వాయు దశకి, ద్రవ దశకి మధ్య ఉండే అవిచ్ఛిన్నత పాతకథే. ఏ వాయువు నైనా దాని కీలకబిందువు (critical point) "చుట్టూ" తీసుకుపోతే, దాన్ని అవిచ్ఛిన్నంగా ద్రవీకరించవచ్చు. కాని ఆ విషయాలన్నీ ఇక్కడ చర్చించబోవడం లేదు.

44. అతి ముఖ్యమైన తేడా

పైన చెప్పుకున్న వాదనా క్రమంలో అన్నిటికీ సంజాయిషీ చెప్పుకుంటూ వచ్చాం. అసలు విషయానికి తప్ప. అదేమిటంటే అణువుని ఒక స్ఫటికతో, అంటే ఘనపదార్థంతో పోల్చుకోవచ్చా? ఎందుకంటే అణువులోని పరమాణువులని ఎలాంటి శక్తులు కలిపి

ఉంచుతున్నాయో, సరిగ్గా అలాంటి శక్తులే నిజమైన ఘనపదార్థంలో గాని, స్ఫటికలో గాని ఉండే అసంఖ్యాకమైన పరమాణువులని కలిపి ఉంచుతున్నాయి. ఒక స్ఫటిక యొక్క నిర్మాణంలో ఎలాంటి ఘనత్వం, లేదా ధృఢత్వం కనిపిస్తుందో, అణువులో కూడా అదే కనిపిస్తుంది. సరిగ్గా ఈ ధృఢత్వంలోనే జన్యువు యొక్క శాశ్వతత్వపు రహస్యం ఉందని ఇక్కడ మనం ప్రతిపాదిస్తున్నాం! సూక్ష్మపదార్థాల నిర్మాణం విషయంలో మనం ఎత్తి చూపవలసిన భేదం ఒకటి వుంది – ఆ పదార్థంలోని పరమాణువులని కలిపి ఉంచేది హైట్లర్ – లండన్ బలాలా కాదా అన్నది చూడాలి. ఘనపదార్థంలో గాని, అణువులో గాని పని చేసే బలాలన్నీ హైట్లర్ – లండన్ బలాలే. వేరు వేరు అణువులతో కూడుకున్న వాయువునే తీసుకుంటే (ఉదాహరణకి మెర్క్యురీ ఆవిరినే తీసుకుందాం) అక్కడ పని చేసేవి హైట్లర్ – లండన్ బలాలు కావు. అణువులతో కూడుకున్న వాయువునే తీసుకుంటే, ఆ అణువులలో మాత్రమే ఇలాంటి బలాలు పని చేస్తాయి. అణువుకి అణువుకి మధ్య పని చేసే బలాలు అవి కావు.

45. అనావర్తక ఘనపదార్థం (Aperiodic solid)

ఓ చిన్న అణువుని "ఘనపదార్థపు బీజం" అని పిలవొచ్చు. అలాంటి ఘనబీజంతో మొదలుపెట్టి, వాటిని క్రమంగా సమీకరిస్తూ రెండు విధాలుగా పెద్ద పెద్ద రాశులని తయారుచెయ్యడానికి వీలవుతుంది. ఒకే నిర్మాణాన్ని మూడు మితులలోను మళ్లీ మళ్లీ ఏర్పాటు చెయ్యడం మొదటి పద్ధతి. ఇది కాస్త అవిశేషమైన పద్ధతి. స్ఫటిక ఎదిగే తీరులో సరిగ్గా ఇదే కనిపిస్తుంది. ఒకసారి ఆవర్తనీయత (periodicity) ఏర్పడ్డాక అలా ఎంత మేరకు ఎదగగలదు అన్నదానికి కచ్చితమైన పరిమితి ఏమీ లేదు. ఇక రెండవ పద్ధతి అలాంటి

మతిమాలిన ఆవృత్తి లేకుండానే పదార్థపు పరిమాణాన్ని విస్తరింపజేస్తూ పోవడం. బాగా సంక్లిష్టమైన కర్బన రసాయన అణువులలో సరిగ్గా ఆ తీరే కనిపిస్తుంది. అందులో ప్రతీ పరమాణువు, ప్రతీ పరమాణు సమూహం ఒక ప్రత్యేకమైన, వ్యక్తిగతమైన పాత్ర పోషిస్తుంది. ఆవర్తక స్ఫటికలలో పరమాణువుల లాగ నలుగురితో నారాయణ అన్నట్టు ప్రవర్తించదు. అలాంటి పదార్థాన్ని 'అనావర్తక ఘనపదార్థం' అనో, 'అనావర్తక స్ఫటిక' అనో పిలుచుకోవచ్చు. ఈ నేపథ్యంతో ఇప్పుడు ఒక సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదిస్తున్నాం – జన్యువు, లేదా మొత్తం క్రోమోసోమ్ తంతువు అలాంటి అనావర్తక ఘనపదార్థం అని మేము నమ్ముతున్నాం.

46. సూక్ష్మరూపం గల కోడ్ లో కుదించబడ్డ అనేక అంశాలు

ఆ నలకంత పదార్థంలో, ఫలదీకృత అండం లోని కేంద్రకంలో, ప్రాణి యొక్క పూర్తి భవిష్యత్తుని నిర్దేశించగల రహస్య సూత్రావళి ఎలా నిక్షిప్తమై వుంది? అని ఎన్నో సార్లు అడుగుతూ ఉంటారు. అలాంటి సూత్రావళి పరమాణువుల సమూహాలలో వ్యక్తం కావాలంటే, ఆ పరమాణువులు కుదురైన విన్యాసంలో ఏర్పడాలి, ఆ విన్యాసం కలకాలం మన్నాలంటే అందులో ఆటుపోట్లకి తట్టుకునే ధృఢత్వం ఉండాలి. ఆ నిర్మాణంలో గొప్ప వైవిధ్యంతో కూడిన అణు సదృశ విన్యాసాలు సాధ్యం కావాలి. ఒక పక్క సూక్ష్మమైన భౌతిక సరిహద్దుల మధ్య ఇముడుతూ, మరో పక్క గొప్ప వైవిధ్యంతో, సంక్లిష్టతతో కూడిన "నిర్దేశకతల"కి అది ప్రతిరూపంగా నిలవాలి. నిజానికి అలాంటి నిర్మాణంలో విన్యాసాల సంఖ్య ఇంచుమించు అసంఖ్యాకం కావడానికి అందులోని పరమాణువుల సంఖ్య మరీ అంత ఎక్కువ కానక్కర్లేదు. అందుకు ఉదాహరణగా మోర్స్ కోడ్ నే తీసుకుందాం. మోర్స్ కోడ్ లో చుక్క (dot), గీత (dash) అనే రెండే అక్షరాలు ఉంటాయి. అలాంటి అక్షరాలు నాలుగింటిని తీసుకుంటే వాటితో

సులభంగా ముప్పై రకాల వర్గాలని వ్యక్తం చెయ్యొచ్చు. ఇక చుక్క, గీతలతో పాటు మూడవ చిహ్నాన్ని కూడా తీసుకుంటే, వాటితో పదిని మించని అక్షరాల సమూహాలని ఏర్పరిస్తే, వాటితో మొత్తం 88,572 అక్షరాలని తయారు చెయ్యవచ్చు. ఇక 5 చిహ్నాలతో, ఒక్కొక్క అక్షరంలో 25 చిహ్నాల వరకు ఉంటాయని ఒప్పుకుంటే, అప్పుడు మొత్తం 372,529,029,846,191,405. అక్షరాలని నిర్మించుకోవచ్చు. అయితే అసలు ఈ పోలిక సమంజసం కాదని కొందరు అభ్యంతర పెట్టొచ్చు. ఎందుకంటే మోర్స్ కోడ్ లో ఏర్పడే సందేశాలలో చిహ్నాల వరుస వేరు కావడమే కాకుండా, అందులోని మూలాంశాలు కూడా వేరు కావచ్చు. కాబట్టి అక్కడ 'అణుసదృశం' అనే భావన వర్తించదు. ఉదాహరణకి ". - - " అనే 'అక్షరానికి', "..– " అనే 'అక్షరానికి' మధ్య విన్యాసంలోనే కాక మూలాంశాలలో కూడా తేడా వుంది. మొదటి దాంట్లో ఒక చుక్క, రెండు గీతలు ఉంటే, రెండవ దాంట్లో ఒక చుక్క, ఒక గీత మాత్రమే ఉన్నాయి. ఈ దోషాన్ని సవరించడానికి మూడో ఉదాహరణ తీసుకుందాం. ఇందులో మొత్తం 25 చిహ్నాలు ఉన్నాయని అనుకుందాం. ఆ 25 చిహ్నాలలో ఒక్కొక్కటి 5 సార్లు మాత్రమే వస్తుంది. ఉదాహరణకి 5 చుక్కలు, 5 గీతలు ... ఇలా అన్నమాట. ఈ లెక్కన ఏర్పడే మొత్తం విన్యాసాల సంఖ్య 62,330,000,000,000 కన్నా ఎక్కువే ఉంటుంది. కుడి కొసన ఉండే సున్నాల స్థానంలో నిజానికి వేరే అంకెలు ఉండాలి. కాని నేను కాస్త బద్ధకించి ఆ అంకెలన్నీ లెక్కించనందుకు క్షమించాలి. దీనికి సంబంధించిన రసాయనిక ఉపమానాన్నే తీసుకుంటే అన్ని రకాల పరమాణు విన్యాసాలూ వాస్తవంలో ఒక అణువుని పుట్టించలేవని గుర్తించాలి. ఇక జన్యువులో ఉండే పరమాణు కూర్పునే తీసుకుంటే, ఎలాంటి కోడ్ ని పడితే అలాంటి కోడ్ ని స్వీకరించడానికి లేదు. అసలు ఆ కోడ్ లోనే జంతు దేహం యొక్క వికాసాన్ని శాసించే, ఒనగూర్చే క్రియాత్మక అంశం ఉండాలి. పైగా ఈ ఉదాహరణలో మనం ఎంచుకున్న సంఖ్య (25) చాలా చిన్నది. అంతేకాక ఒకే రేఖ మీద వరుసక్రమంలో వచ్చే ఏర్పాట్లలో తేడాలని మాత్రమే ఇక్కడ మనం పరిగణిస్తున్నాం. జన్యువులో ఉండే

పరమాణువుల విన్యాసంలో, శరీరం యొక్క వికాస ప్రణాళిక (developmental plan) ని నిర్దేశించే కోడ్ దాగి ఉంటుందని అనుకోవడంలో సందేహం లేదు. అంతేకాక ఆ ప్రణాళికని అమలుజరిపి, వాస్తవీకరించే సాధనాలు కూడా మరి అందులోనే ఉండితీరాలి.

47. వాస్తవాలతో పోల్చుతూ చేసే విశ్లేషణ; స్థిరత్వంలో స్థాయి; ఉత్పరివర్తనలో విచ్ఛిన్నత

ఇప్పుడు ఇంతవరకు మనం రూపొందించిన సైద్ధాంతిక చిత్రాన్ని జీవశాస్త్రీయ వాస్తవాలతో పోల్చుతూ సరిచూసుకుందాం. మొట్టమొదటి ప్రశ్న ఏమింటంటే జన్యువులలో మనకి కనిపించే అత్యున్నత స్థాయికి చెందిన శాశ్వతత్వాన్ని ఈ సిద్ధాంతం వివరించగలదా? సగటు ఉష్ణ శక్తి (kT) కన్నా ఎన్నో రెట్లు ఉండాల్సిన 'గడప శక్తి' (threshold energy) విలువలు సమంజసమైనవేనా? సాధారణ రసాయనిక ధర్మాలు అలాంటి విలువలని సమర్ధిస్తాయా? అయితే ఇది కాస్త సులభమైన ప్రశ్నే. రసాయనిక పట్టికలని కూడా సంప్రదించకుండా ఈ ప్రశ్నకి సమర్ధిస్తూ సమాధానం చెప్పొచ్చు. ఒక ప్రత్యేకమైన ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఒక రసాయనికుడు ఒక పదార్థాన్ని సంయోజించినప్పుడు, ఆ పదార్థానికి కనీసం కొన్ని నిముషాల ఆయుర్దాయం అయినా ఉండి తీరాలి. కొన్ని నిముషాలేం ఖర్మ, అంతకన్నా చాలా ఎక్కువ ఆయుర్దాయమే ఉండాలి. కాబట్టి రసాయనికులకి తారసపడే గడప శక్తి విలువలు, జీవశాస్త్రవేత్తలకి తారపడే దీర్ఘాయువు గల పదార్థాల యొక్క గడప శక్తి విలువలతో తులతూగుతూ ఉండి తీరాలి. అంతకు ముందు మనం చూశాం. కేవలం 1:2 నిష్పత్తి వైవిధ్యం గల గడప శక్తులతోనే, కేవలం కొన్ని క్షణాల నుండి కొన్ని పదుల వేల సంవత్సరాల ఆయుర్దాయాల వరకు వివరించడానికి వీలవుతుంది. భవిష్యత్ అవసరాల కోసం ఇక్క కొన్ని సంఖ్యలు పేర్కొంటాను.

పేజి *** లో ఉదాహరణగా కొన్ని W/kT విలువలని పరిగణించాము.

W/kT = 30, 50, 60

వీటికి సంబంధించిన ఆయుర్దాయాల విలువలు వరుసగా, 1/10 క్షణాలు, 16నెలలు, 30,000 సంవత్సరాలు. ఈ విలువలు గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద

0.9, 1.5, 1.8

ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ (eV) ల గడప శక్తి విలువలకి సంబంధించినవి.

ఈ ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ అనే ఏకాంకం (unit) అర్థం ఏమిటో ఇక్కడ వివరించాలి. భౌతికశాస్త్రవేత్తకి ఇది చాలా అనువైన ఏకాంకం. ఎందుకంటే దాన్ని సులభంగా దృశ్యరూపంలో ఊహించుకోవచ్చు. పైన ఉదాహరణలో ముడవ సంఖ్యని తీసుకుంటే, ఒక ఎలక్ట్రాన్ 1.8 వోల్ట్ ల వోల్టేజిని దాటినప్పుడు చెందిన త్వరణం (acceleration) వల్ల ఎంత శక్తిని పుంజుకుంటుంది అంటే ఆ శక్తితో అణువిన్యాసంలో కావలసిన మార్పిడి సాధ్యమవుతుంది. (పోలిక కోసం చెప్పుకోవాలంటే మనం మామూలుగా వాడే టార్చ్ లైట్ లోని బాటరీలు 3 వోల్ట్ ల బాటరీలు.)

పైన చెప్పుకున్న లెక్క బట్టి ఒక పెద్ద అణువులో ఒక భాగంలో, కేవలం ప్రకంపన శక్తిలో పుట్టే యాదృచ్ఛికమైన ఆటుపోట్ల వల్ల, జరిగిన అణుసదృశమైన మార్పిడి ఎంతో అరుదుగా జరుగుతుంది కానుక, దాన్ని అప్రయత్న ఉత్పరివర్తన (spontaneous mutation)

అనుకోవడానికి సబబుగానే ఉంటుంది. ఆ విధంగా క్వాంటం మూలసూత్రాల సహాయంతో ఉత్పరివర్తనలకి సంబంధించిన అద్భుతాన్ని వివరించడానికి వీలవుతుంది. అసలు అందుకే ఉత్పరివర్తనలు డీ వ్రీస్ దృష్టిని ఆకట్టుకున్నాయి. అవి 'గంతులు వేసే' జీవవైవిధ్యాలు అని మురిసిపోయాడు.

48. సహజంగా ఎంపిక చేయబడ్డ జన్యువుల స్థిరత్వం

అయనీకరించే కిరణాల (ionizing rays) వల్ల సహజ ఉత్పరివర్తనా వేగం పెరుగుతుందని తెలిశాక, సహజ ఉత్పరివర్తనా వేగం మట్టిలోను, గాలి లోను ఉండే రేడియో ధార్మికత మీద, లేదా కాస్మిక్ కిరణాల మీద ఆధారపడుతుందని అనుకోవలసి ఉంటుంది. కాని ఎక్స్ – కిరణాలతో చేసిన తులనాత్మక అధ్యయనాల బట్టి చూడగా, సహజ వికిరణాలు చాలా బలహీనమైనవని, వాటి సహాయంతో సహజ ఉత్పరివర్తనా వేగంలో చాలా చిన్న అంశాన్ని మాత్రమే వివరించడానికి వీలవుతుందని తెలుస్తోంది. అరుదైన సహజ ఉత్పరివర్తనలని ఉష్ణ చలనాల యాదృచ్ఛిక ఆటుపోట్ల సహాయంతో వివరించాల్సి ఉందని ఒకసారి ఒప్పుకున్నాక, ఉత్పరివర్తనలు అరుదుగా జరిగేందుకు గాని గడప శక్తులు తగినంత హెచ్చుగా ఉండేలా ప్రకృతి జాగ్రత్తలు తీసుకుంటుందని అర్థం చేసుకోవాల్సి ఉంటుంది. ఈ సందర్భంలో ఈ ఉపన్యాసాలలో మొదట్లోనే ఉత్పరివర్తనా వేగం అధికంగా ఉంటే అది పరిణామానికి హానికరం అని చెప్పుకున్నాం.

ఉత్పరివర్తన వల్ల ఏదైనా ప్రాణిలో తగినంత స్థిరత్వం జన్యువు ఏర్పడిందంటే, 'సంచలనాత్మకమైన మార్పులు' ప్రదర్శించే దాని సంతతి ఎక్కువ కాలం నిలువదు అనడంలో సందేహమే లేదు. అలాంటి ప్రాణులు ఆ జీవజాతి నుండి తొలగించబడతాయి. అలాంటి ప్రాణుల నుండి ఆ జీవజాతి విముక్తి చెందుతుంది.

49. కొన్ని సందర్భాలలో తక్కువ స్థిరత్వాన్ని ప్రదర్శించే ఉత్పరివర్తనలు

ఒక తరానికి, దాని సంతతికి మధ్య ఎలాంటి తేడాలు పుడతాయో పరీక్షించే breeding ప్రయోగాలలో, ఎలాంటి ఉత్పరివర్తనలు ఉత్పన్నం అవుతాయో గమనిస్తే, అవన్నీ గొప్ప స్థిరత్వం కలిగి ఉంటాయని నమ్మకం ఏమీ లేదు. ఎందుకంటే స్థిరత్వం గల ఉత్పరివర్తనలన్నీ ముందే వ్యక్తం అయిపోయాయి; స్థిరత్వం లేనివి పరిణామం చేత తొలగించబడ్డాయి. కాబట్టి ఈ ప్రయోగాలలో కనిపించే ఉత్పరివర్తనలలో మామూలు జన్యువుల కన్నా తక్కువ స్థ్రిరత్వం, లేదా ఎక్కువ మారుదల కనిపిస్తే ఆశ్చర్యం లేదు.

50. స్థిరమైన జన్యువుల కన్నా అస్థిరమైన జన్యువుల మీద ఉష్ణోగ్రత ప్రభావం తక్కువగా ఉంటుంది

జన్యువులలో ఉత్పరివర్తన ఎంత వేగంగా జరుగుతుందో తెలిపే ఈ కింది సూత్రాన్ని ఇప్పుడు పరీక్షించే అవకాశం దొరుకుతోంది.

$t = t_0 \exp(-W/kT)$

ఇక్కడ t_0 అనేది ఒక చిన్న స్థిరాంకం. W గడప శక్తి. ఇక t అనేది మళ్లీ వచ్చే సారి ఉత్పరివర్తన ఎంత కాలం తరువాత జరుగుతుందో తెలిపే ఆశించదగ్గ కాలం (expectation time). ఉష్ణోగ్రత, T, విలువ బట్టి, t విలువ ఎలా మారుతుంది అని ఇప్పుడు మనం ఆశించాలి. ఉష్ణోగ్రత T వద్ద t విలువకి, ఉష్ణోగ్రత T+10 వద్ద t విలువకి మధ్య నిష్పత్తిని సులభంగా ఉజ్జాయింపుగా లెక్కించడానికి వీలవుతుంది.

ఇప్పుడు ఘాతం (exponent) యొక్క విలువ రుణసంఖ్య అవుతోంది కనుక నిష్పత్తి విలువ 1 కన్నా తక్కువ అవుతుంది. ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతున్న కొద్ది ఉత్పరివర్తన కోసం ఎదురుచూడవలసిన కాలం తరుగుతూ ఉంటుంది. అంటే ఉత్పరివర్తనీయత పెరుగుతుంది అన్నమాట. దీన్ని సులభంగా పరీక్షించవచ్చు. పరీక్షించబడింది కూడా. డ్రొసోఫైలా ఈగల్లో ఉష్ణోగ్రత మార్చుతూ వాటిలో ఉత్పరివర్తనల్లో వచ్చే మార్పుల కోసం పరీక్షించారు. పరీక్షల్లో తేలిన ఫలితాలు ఆశ్చర్యకరంగా ఉన్నాయి. Wild జన్యువుల్లో సామాన్యంగా కనిపించే అతి తక్కువ ఉత్పరివర్తనీయత ఇప్పుడు గణనీయంగా పెరిగింది. కాని అంతకు ముందే ఉత్పరివర్తన చెందే జన్యువుల్లో మాత్రం ఉత్పరివర్తనీయత పెరిగింది గాని, అనుకున్న స్థాయిలో పెరగలేదు. మన రెండు సూత్రాలని పోల్చి చూసినప్పుడు నాక్కూడా సరిగ్గా అదే అనిపించింది.

W/kT విలువ పెద్దగా ఉంటే ఉత్పరివర్తన జరిగే అవకాశం అతి తక్కువగా ఉంటుంది. అలాంటి జన్యువు స్థిరంగా ఉంటుంది. మొదటి సూత్రం ప్రకారం ఏ కారణం చేత అయితే W/kT విలువ పెద్దగా ఉంటే t విలువ పెరిగి, జన్యువు స్థిరంగా ఉంటుందో, అదే కారంం చేత

W/kT విలువ పెద్దగా ఉన్నప్పుడు రెండవ సూత్రంలోని నిష్పత్తి చిన్నది అవుతుంది. అందుకే ముందే ఉత్పరివర్తన జరిగిన చోట ఉష్ణోగ్రత పెంచడం వల్ల మళ్లీ ఉత్పరివర్తన జరిగే అవకాశం తక్కువగా ఉంటుంది. (ఆ నిష్పత్తి యొక్క అసలు విలువలు ½ కి 1/5 కి మధ్యన ఉంటాయి. దాని వ్యుత్క్రమ విలువనే (reciprocal) మామూలు రసాయన శాస్త్రంలో వాంట్ హోఫ్ కారణాంకం (van't Hoff) అంటారు.

31. ఎక్స్ – కిరణాల వల్ల ఉత్పరివర్తన ఎలా జరుగుతుంది?

ఇప్పుడు ఎక్స్ – కిరణాల వల్ల కలిగే ఉత్పరివర్తనల మీదకి దృష్టి సారిద్దాం. పెంపకపు ప్రయోగాల (breeding epxeriments) నుండి అంత ముందే కొన్ని వాస్తవాలు తెలుసుకున్నాం. మొదటగా ఉత్పరివర్తన జరిగే వేగం బట్టి, మోతాదు బట్టి, నిష్పత్తి బట్టి ఏదో ప్రత్యేకమైన ఒంటరి సంఘటన వల్ల ఉత్పరివర్తన జరుగుతుందని గ్రహించాం. ఇక రెండవ విషయం ఏమిటంటే ఆ ఏకాంత సంఘటన అయనీకరణ కావాలి, లేదా అటువంటిది మరేదైనా అయ్యుండాలి. పైగా అది 10 పరమాణు దూరాల ఘనం అంత విలువ గల ఘనపరిమాణం లోపల జరగాలి. (ఉత్పరివర్తన మొత్తం అయనీకరణ సాంద్రత మీద ఆధారపడుతుందని, అయనీకరణ తరంగదైర్ఘ్యం మీద ఆధారపడదని తెలిపే ప్రయోగాల నుండి పై విషయాలు మనకి తెలుసుతున్నాయి.) ఇక్కడ మనం ప్రతిపాదించే సిద్ధాంతం ప్రకారం గడప శక్తిని అధిగమించే శక్తి ఏదో విస్ఫోటాత్మక ప్రక్రియ లో నుండే ఉత్పన్నం కావాలి. అది విస్ఫోటాత్మకం అని ఎందుకు అంటున్నానంటే, ఒక అయనీకరణలో వెచ్చించబడే శక్తి 30 ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ ల వంటి గణనీయమైన శక్తి అని మనకి ఇప్పుడు బాగా తెలుసు. (అంత అధిక విలువ గల శక్తి నేరుగా అయనీకరణ నుండి రాదు, దాని వల్ల పుట్టే

ద్వితీయ ఎలక్ట్రాన్ నుండి వస్తుంది, అన్న విషయం గుర్తుంచుకోవాలి.) వికిరణాలు ప్రసరించిన చోట విపరీతంగా ఉష్ణచలనం పుడుతుందని ఊహించుకోవచ్చు. అలా పుట్టిన చలనం అక్కడి నుండి నలుదిశలా 'ఉష్ణతరంగం'లా వ్యాపిస్తుంది. పరమాణువుల యొక్క తీవ్ర ప్రకంపనలతో కూడుకున్నదే ఆ ఉష్ణ తరంగం. ఆ ఉష్ణతరంగం ఉత్పరివర్తనకి అవసరమైన 1 – 2 ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ ల గడప శక్తిని, సగటున సుమారు 10 పరమాణు దూరాల 'ప్రభావ విస్తృతి' (range of action) వరకు ప్రసరించగలదని నిస్సంకోచంగా అనుకోవచ్చు.

అయితే ఎన్నో సందర్భాలలో అలాంటి విస్ఫోటాత్మక ప్రభావం యొక్క పర్యవసానం క్రమబద్ధంగా జరిగే అణుసదృశ మార్పిడి కాదు. దాని వల్ల కేవలం క్రోమోసోమ్ గాయపడడం తప్ప మరేమీ ఉండదు. అలా గాయపడ్డ క్రోమోసోమ్ తొలగింపబడి, దాని స్థానంలో దాని జంట క్రోమోసోమ్ ప్రవేశపెట్టబడుతుంది. గాయపడ్డ క్రోమోసోమ్ ఏ జన్యువు అయితే దెబ్బ తిన్నదో, ఈ జంట క్రోమోసోమ్ లో కూడా ఆ జన్యువు స్థబ్ధుగా ఉంటుంది. ఈ పరిణామాలన్నీ సైద్ధాంతికంగా ఊహించవచ్చు. అవన్నీ వాస్తవంలో నిజమని రూఢి అయ్యింది కూడా.

52. వాటి సమర్థత అప్రయత్న ఉత్పరివర్తనల మీద ఆధారపడదు

ఇక్కడ ప్రతిపాదించబడుతున్న సిద్ధాంతం సహాయంతో మరెన్నో పరిణామాలని వివరించడానికి వీలవుతుంది. ఉదాహరణకి అస్థిరమైన ఉత్పరివర్తన ఉన్న చోట, ఎక్స్ – రేల వల్ల ఏర్పడే ఉత్పరివర్తన వేగం, స్థిరమైన ఉత్పరివర్తన ఉన్న చోట ఎక్స్ – రేల వల్ల ఏర్పడే ఉత్పరివర్తన వేగం కన్నా ఎక్కువ కాదు. మరి 30 ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ ల విస్ఫోటాన్ని కలుగజేసినప్పుడు గడప శక్తి 1 ఎలక్ట్రాన్ వోల్టా, లేక 1.3 ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్ లా అన్న చర్చ అంత ముఖ్యం కాదు.

53. ఉత్క్రమణీయ ఉత్పరివర్తనలు (Reversible Mutations)

కొన్ని సందర్భాలలో జన్యువులలో పరివర్తన రెండు దిశలలో జరగడం కనిపించింది. సహజ (wild) జన్యువు ఉత్పరివర్తక జన్యువు గాను, తిరిగి ఉత్పరివర్తక జన్యువు సహజ జన్యువుగా మారడం కనిపించింది. అలాంటి సందర్భాలలో కొన్ని సార్లు ఉత్పరివర్తన వేగంలో మార్పు లేకపోవడం, మరి కొన్ని సార్లు చాలా భిన్నమైన వేగం ఉండడం కనిపిస్తుంది. మొదటి చూపులో ఈ పరిణామం కొంత ఆశ్చర్యం కలిగించొచ్చు. ఎందుకంటే రెండు సందర్భాలలో దాటవలసిన గడప శక్తి ఒక్కటే అవుతుంది కదా అనుకుంటాం. అనుకుంటాం గాని నిజానికి కానక్కర్లేదు. అది తేల్చుకోడానికి జన్యువు యొక్క అరంభస్థితిలో దాని శక్తి స్థాయి ఎంత, మార్పు చెందిన తరువాత దాని శక్తి స్థాయి ఎంతో తెలుసుకుని, రెండిటికీ మధ్య తేడా కొలిచినప్పుడు గడప శక్తి ఎంతో తెలుస్తుంది. అప్పుడు సహజ జన్యువుకి, ఉత్పరివర్తన చెందిన జన్యువుకి మధ్య తేడా ఉందో లేదో తెలుస్తుంది. మొత్తం మీద డెల్ బ్రుక్ నమూనా అన్ని పరీక్షలకి తట్టుకుని స్థిరంగా నిలుస్తున్నట్టు కనిపిస్తుంది. కాబట్టి దాని పర్యవసానాలని ఇంకా విస్తృతంగా పరిశీలిస్తూ పోవచ్చు.

6. క్రమం, క్రమరాహిత్యం, ఎంట్రోపీ

54. అణు సిద్ధాంతం నుండి రాబట్ట దగ్గ ఒక అద్భుత నిష్కర్ష

పేజి ** మీద చేసిన ఒక వ్యాఖ్య ని ఇక్కడ మరొక్కసారి ప్రస్తావిస్తాను. జన్యువు ఒక అణువు అనుకున్నప్పుడు, అందులో సూక్ష్మ రూపంలో ఉండే సందేశానికి (code), ఎంతో సంక్లిష్టంగా కొనసాగే దేహవికాస క్రమానికి మధ్య 'ఒకదానికొకటి' అనే (one-to-one) సంబంధం ఉండి తీరాలని, దేహవికాస క్రమంలోని దశలని అమలు జరపడానికి కావలసిన ఆదేశాలన్నీ ఆ కోడ్ లోనే ఉండి తీరాలని, అంతకు ముందు అన్నాను. అది నిజమే కావచ్చు గాని కచ్చితంగా అది ఎలా సాధ్యం? "సంభవమే" ననే ఊహని కచ్చితమైన అవగాహనగా ఎలా మార్చవచ్చు?

డెల్ బ్రుక్ ప్రతిపాదించిన అణు నమూనాని సమగ్రంగా తీసుకున్నా సరే, అందులో అనువంశిక పదార్థం ఎలా పని చేస్తుందో తెలిపే సూచనలేవీ కనిపించవు. ఈ ప్రశ్నకి సవివరమైన సమాధానం దగ్గరి భవిష్యత్తులో భౌతిక శాస్త్రం నుండి వస్తుందన్న నమ్మకం కూడా లేదు. జీవక్రియా శాస్త్రం (physiology), జన్యు శాస్త్రాల దిశానిర్దేశం మీదట జీవరసాయన శాస్త్రంలో (biochemistry) ఎంతో గణనీయమైన పురోగతి జరుగుతోంది. ఈ పుస్తకంలో ఇంతవరకు చేసినట్టు, కేవలం జన్యువు యొక్క అణు నిర్మాణం గురించి కొంత సర్వసామాన్యమైన వర్ణన ఆధారంగా జన్యు యంత్రాంగం ఎలా పని చేస్తుందో సవివరంగా చెప్పగలగడం అసాధ్యం. ఆ సత్యాన్ని ఒప్పుకోవడం కష్టం కాదు. కాని అలాంటి ప్రాథమిక

వర్ణన నుండి కూడా ఒక ముఖ్యమైన సత్యాన్ని వెలికితీయవచ్చు. నిజానికి ఈ పుస్తకం రాయడంలో నా ప్రయోజనం కూడా అదే. డెల్ బ్రుక్ ప్రతిపాదించిన ప్రాథమిక జన్యు అణు సిద్ధాంతం ఆధారంగా ఒక విషయం అర్థమవుతుంది. జీవ పదార్థం ప్రస్తుతం తెలిసిన భౌతిక ధర్మాలని ఉల్లంఘించకపోయినా, ప్రస్తుతం తెలియని భౌతిక ధర్మాలు దాని ప్రవర్తనని శాసిస్తూ ఉండొచ్చు. కాబట్టి ఆ నూతన ధర్మాలన్నీ తెలిశాక జీవపదార్థపు ధర్మాలు కూడా విజ్ఞాన శాస్త్రపు భావజాలంలో పూర్తిగా ఇమిడిపోతాయి.

55. క్రమం మీద ఆధారపడ్డ క్రమం

ఇక్కడ మీ ముందు ఉంచబోతున్న వాదనాక్రమం కాస్త సూక్ష్మంగా ఉంటుంది. దాన్ని ఎన్నో విధాలుగా అపార్థం చేసుకోవచ్చు. ఇక ఈ పుస్తకంలో మిగిలిన పేజీలన్నీ ఈ విషయాన్ని స్పష్టీకరించడానికే కేటాయించబడతాయి. వాదనలోని తొలి అంశాలని ఈ విధంగా వ్యక్తం చేయవచ్చు.

ఒకటవ అధ్యాయంలో చెప్పుకున్నట్టు మనకి తెలిసినంత వరకు భౌతిక శాస్త్ర ధర్మాలు గణాంక ధర్మాలు (statistical laws). భౌతిక ప్రపంచంలో వ్యవహారాలన్నీ క్రమంగా క్రమరాహిత్యం దిశగా ఎలా మొగ్గుచూపుతాయో తెలిపే ధర్మాలవి.

కాని అనువంశిక పదార్థం ఒక పక్క పరిమాణంలో అంత సూక్ష్మంగా ఉంటూ, మరో పక్క అంత గొప్ప మన్నిక కలిగి ఉండడం మనకి తెగని సమస్యగా దాపురించింది. ఆ సమస్యని తీర్చడం కోసం క్వాంటం శాస్త్రం అనే మాయాదండం యొక్క అద్భుత ప్రభావం వల్ల, అనేకవిధమైన క్రమాన్ని వ్యక్తం చెయ్యగల ఒక మహా అణువు ఉంటడం సాధ్యమేనని

వాదిస్తూ, ఏదో మాయచేసి అలాంటి అణువుని పుట్టించాలని అనుకోవడం, "ఆవిష్కరించాలని" అనుకోవడం తప్పే అవుతుంది. అలాంటి "ఆవిష్కరణ" యాదృచ్ఛికతా ధర్మాలని వమ్ము చేయదు. ఆ ధర్మాల పర్యవసానాలని కొద్దిగా సవరిస్తుందంతే. సాంప్రదాయక భౌతిక శాస్త్ర ధర్మాలని క్వాంటం సిద్ధాంతం సవరిస్తుందని, ముఖ్యంగా తక్కువ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఆ సవరణ చాలా స్పష్టంగా కనిపిస్తుందని భౌతిక శాస్త్రవేత్తకి బాగా తెలుసు. ఆ వాస్తవానికి అద్దం పట్టే తార్కాణాలు ఎన్నో ఉన్నాయి. జీవపదార్థం అలాంటి తార్కాణాలలో ఒకటి, అత్యద్భుతమైనది కూడా.

జీవపదార్థంలో గొప్ప క్రమబద్ధత కనిపిస్తుంది. క్రమరాహిత్యం దిశగా మొగ్గుచూపే ఒరవడి జీవపదార్థంలో అంతగా కనిపించదు. క్రమబద్ధతని పుట్టించి, ఏదో ఒక విధంగా దాన్ని సదా నిలుపుకుంటుంది. నా దృక్పథాన్ని ప్రత్యేకించి భౌతికశాస్త్రవేత్తకి మాత్రమే స్పష్టం చెయ్యాలనే ఉద్దేశంతో నా ఆలోచనని ఇలా వ్యక్తం చేస్తాను. నిరపేక్ష సున్నా (absolute zero) ఉష్ణోగ్రత వద్ద, అణువుల క్రమరహిత చలనం స్తంభించడం వల్ల మామూలు పదార్థంలో ఎలాంటి క్రమబద్ధత నెలకొంటుందో, అలాంటి క్రమబద్ధతని పోలిన క్రమాన్ని వ్యక్తం చేసే బృహత్ స్థాయి వ్యవస్థల్లో జీవవ్యవస్థ ఒకటి.

భౌతికశాస్త్రవేత్త కాని వారికి ఈ విషయం సులభంగా మింగుడు పడదు. నిశితమైన, నిర్దిష్టమైన పనితీరుకి అద్దం పట్టే సాధారణ భౌతిక శాస్త్ర ధర్మాలు నిజానికి గణాంక ధర్మాల మీద ఆధారపడతాయని, క్రమరాహిత్యం దిశగా మొగ్గు చూపే ఒరవడుల మీద ఆధారపడతాయని ఊహించడం అసంభవం అనిపిస్తుంది. అధ్యాయం 1 లో అందుకు ఉదాహరణలు పేర్కొన్నాను. భౌతిక వ్యవస్థల్లో క్రమరాహిత్యం దిశగా మొగ్గుచూపే

ఒరవడికి నిర్వచనం అని చెప్పుకోదగ్గ ధర్మం ఒకటి ఉంది. అదే ఉష్ణగతిశాస్త్రం (thermodynamics) లోని రెండవ నియమం. దీన్నే entropy సూత్రం అని కూడా అంటారు. ** - ** పేజీలలో జీవపదార్థం యొక్క బృహత్ స్థాయి ప్రవర్తన మీద ఎంట్రొపీ సూత్రం ఎలాంటి ప్రభావం చూపిస్తుందో వివరిస్తాను. అందుకోసం ప్రస్తుతానికి క్రోమోసోమ్ ల గురించి, అనువంశికత గురించి మనకు తెలిసినందంతా కాసేపు పక్కన పెడతాను.

56. సమతా స్థితి (equilibrium) దిశగా పతనం చెందే ఒరవడిని జీవపదార్థం ధిక్కరిస్తుంది

జీవం యొక్క ముఖ్య లక్షణం ఏమిటి? పదార్థాన్ని సజీవమైనది అని ఎప్పుడు అంటాము? అది "ఏదైనా చేసినప్పుడు," కదిలినప్పుడు, పరిసరాలతో పదార్థాన్ని ఇచ్చిపుచ్చుకోవడం మొదలైనవి చేసినప్పుడు దాన్ని జీవపదార్థం అంటాము. అంతే కాక జీవరహిత పదార్థం కన్నా ఇవన్నీ మరింత ఎక్కువ సేపు కుదురుగా చెయ్యగలగాలి. జీవం లేని వస్తువుని సమమైన లక్షణాలు గల పరిసరాలలో ఉంచినప్పుడు కొంత సేపటి తరువాత చలనాలన్నీ స్తంభించిపోతాయి. అలా స్తంభించినపోవడానికి కారణాలు ఎన్నో ఉన్నాయి. రాపిడి (friction) వల్ల చలనాలు నెమ్మదిస్తాయి. వివిధ స్థానాల మధ్య విద్యుత్ శక్మాల (electric potentials) లో తేడాలు గాని, రసాయనిక శక్మాలలో (chemical potentials) తేడాలు గాని నాశనమైనప్పుడు, ఉష్ణవాహకత వల్ల ఉష్ణోగ్రత అన్ని చోట్ల సమంగా విస్తరించినప్పుడు చలనాలు ఆగిపోతాయి. ఆ తరువాత ఆ వ్యవస్థ జీవం లేని మృత పదార్థంలా, జడపదార్థంలా మారిపోతుంది. వ్యవస్థ అలాంటి శాశ్వత స్థితిని చేరుకున్నప్పుడు ఇక గమనించడానికి అందులో ప్రత్యేకమైన చలనాలేవీ ఉండవు. ఆ స్థితినే భౌతిక శాస్త్రవేత్త ఉష్ణగతిక సమతాస్థితి (thermodynamic equilibrium) అంటాడు. ఆ స్థితిలో ఎంట్రొపీ గరిష్ఠ విలువని చేరుకుంటుంది. వాస్తవంలో అయితే అలాంటి

స్థితిని వ్యవస్థ చాలా వేగంగా చేరుకున్నట్టు కనిపిస్తుంది. కాని సైద్ధాంతికంగా చూస్తే ఎన్నో సందర్భాలలో అది పూర్తి సమతాస్థితి కాదు. ఎంట్రొపీ యొక్క గరిష్ఠ విలువని పూర్తిగా చేరుకున్నట్టు కూడా కాదు. ఆ స్థితిని చేరుకోడానికి గంటలు, ఏళ్లు మాత్రమే కాదు, శతాబ్దాలు కూడా పట్టొచ్చు...

ఒక ఉదాహరణ చెప్తాను. ఇందులో వ్యవస్థ సమతాస్థితిని చాలా వేగంగా సమీపిస్తున్నట్టు అనిపిస్తుంది. ఒక మంచి నీటితో నిండిన గ్లాసుని, చక్కెర నీటితో నిండిన మరో గ్లాసుని గాలి చొరబడని మూసిన పెట్టెలో పక్క పక్కన ఉంచాలి. పెట్టెలో ఉష్ణోగ్రత సమంగా ఉందని అనుకుందాం. మొదట్లో ఏమీ జరుగుతున్నట్టు కనిపించదు. సంపూర్ణ సమతాస్థితిని చేరుకున్నట్టు అనిపిస్తుంది. కాని ఒకటి, రెండు రోజుల తరువాత వచ్చి చూస్తే, మంచి నీటి గ్లాసు నుండి మంచి నీరు నెమ్మదిగా ఆవిరై, చక్కెర నీటి గ్లాసు మీద పేరుకోవడం కనిపిస్తుంది. దీనికి కారణం మంచి నీటి యొక్క ఆవిరి పీడనం (vapour pressure) చక్కెర నీటి ఆవిరిపీడనం కన్నా ఎక్కువ కావడమే. చక్కెర నీరు ఉన్న గ్లాసు అప్పటికే నిండి ఉండడం చేత ఆ గ్లాసు లోని ద్రవం పొంగిపొరలుతుంది. మంచి నీరు పూర్తిగా ఆవిరి అయినప్పుడే, మంచి నీటి అణువుల మధ్య సమంగా విస్తరించాలి అనుకునే చక్కెర అణువుల లక్ష్యం నెరవేరుతుంది. ఈ పరిణామం అంతా చాలా నెమ్మదిగా జరుగుతుంది. ఈ విధంగా సమతాస్థితిని అతి నెమ్మదిగా సమీపించే ప్రక్రియలని జీవప్రక్రియలని అనుకుని పొరబడకూడదు. అలాంటి ప్రక్రియలని ఇక్కడ పట్టించుకోవడం లేదు. వాదనలో లొసుగులు ఉన్నాయనే అపవాదు నుండి తప్పించుకోవడం కోసమే పైన ఈ ఉదాహరణలు ఇవ్వడం జరిగింది.

57. అది 'రుణ ఎంట్రోపీ' ని భక్షిస్తుంది

సమతాస్థితి దిశగా వేగంగా పతనం చెందే దుస్థితి నుండి తప్పించుకోవడంలో జీవపదార్థం తన ప్రత్యేకతను చాటుకుంటుంది. జీవపదార్థం యొక్క ఈ ప్రత్యేకత ఎంత అసాధారణంగా, విభ్రాంతికరంగా తోచుతుంది అంటే, మానవ చింతనా చరిత్ర యొక్క తొలి దశల నుండి కూడా ఏవో అభౌతిక, అధిభౌతిక శక్తులు జీవపదార్థాన్ని శాసిస్తున్నాయని భావిస్తూ రావడం జరిగింది. ప్రాణుల దేహాలు క్షీణత చెందకుండా ఎలా మన్నగలుగుతున్నాయి? ఈ ప్రశ్నకి ఒక సాధారణ సమాధానం వుంది - తినగడం, తాగడం, శ్వాస తీసుకోవడం, జీర్ణం చేసుకోవడం వల్ల. వీటన్నిటికీ ఉమ్మడిగా ఒక సాంకేతిక పదం వుంది. అదే మెటబాలిజమ్ (metabolism). ఆ గ్రీకు పదానికి అర్థం వినియమం (exchange). ఇక్కడ ఏం వినియమం చెందుతోంది? దేని బదులుగా ఏం వస్తోంది? మొదట్లో వినియమం అంటే పదార్థం యొక్క వినియమం అనే అర్థంలోనే వాడేవారు. (metabolism కి జర్మన్ పదం stoffwechsel; stoff = పదార్థం, wechsel = వినియమం). కాని ఈ వినియమంలో పదార్థం యొక్క వినియమమే ప్రధానాంశం అనుకోవడంలో అర్థం లేదు. ఒక ఆక్సిజన్ పరమాణువు గాని, ఒక నైట్రోజెన్ గాని, ఒక హైడ్రోజెన్ గాని ఇలా ఒకే రకం పరమాణువులు రెండు తీసుకుంటే రెండిటి ప్రయోజనం ఒక్కటే అవుతుంది. కాబట్టి ఒకదానికి బదులు మరో పరమాణువుని ఇచ్చిపుచ్చుకోవడంలో అర్థం లేదు.

అయితే వినియమంలో చేతులు మారేది పదార్థం కాదని, శక్తి అని చెప్పి కొంతకాలం మన నోళ్లు మూయించారు శాస్త్రవేత్తలు. ఒక అభివృద్ధి చెందిన దేశంలో (అది జర్మనీనో, అమెరికానో మరి కచ్చితంగా గుర్తులేదు) హోటళ్లలో మెనూ కార్డ్ ల మీద భోజన పదార్థాల

వెలతో బాటు, వాటి శక్తి రాశి (energy content) కూడా పేర్కొనబడుతుంది. ఆ భావనని యదాతథంగా తీసుకుంటే అర్థం లేదు. ఒక ఎదిగిన జీవిలో మొత్తం పదార్థ రాశి లాగానే, మొత్తం శక్తి రాశి విలువ స్థిరంగా ఉంటుంది. ఏ రెండు కాలరీలని తీసుకున్నా వాటి విలువ ఒక్కటే కనుక, ఊరికే కాలరీలని వినియమం చేసుకోవడంలో కూడా అర్థం కనిపించలేదు. మరి మన ఆహారంలో ఉండే అత్యంత విలువైన అంశం, మనని చావకుండా కాపాడే ఆ అంశం ఏమిటి? దీనికి సులభంగా సమాధానం చెప్పొచ్చు.

మన చుట్టూ జరిగే ప్రతీ ప్రక్రియ, సంఘటన, చలనం – దానిని ఏ పేరుతోనైనా పిలవచ్చు – ప్రకృతిలో ఏం జరిగినా ఆ ప్రాంతంలో ఎంట్రొపీ తప్పనిసరిగా పెరుగుతుంది. కాబట్టి జీవదేహంలో లేదా జీవిలో కూడా ఎంట్రొపీ నిరంతరం పెరుగుతూ ఉంటుంది. దీన్నే మరొక రకంగా చెప్పుకోవాలంటే ధనాత్మక ఎంట్రొపీని పుట్టిస్తూ ఉంటుందని చెప్పుకోవచ్చు. ఆ విధంగా అది మరణ తుల్యమైన గరిష్ఠ ఎంట్రొపీ స్థితి దిశగా పరిణామం చెందుతూ ఉంటుంది. అలాంటి స్థితిని చేరుకోకుండా, అందుకు దూరంగా ఉండాలంటే అది చెయ్యగలిగేది ఒక్కటే. దాని పరిసరాల నుండి రుణాత్మక ఎంట్రొపీని (negative entropy) లోనికి తీసుకుంటూ ఉండడం. పేరుకి రుణాత్మకం గాని అది నిజానికి ధనాత్మకమైన రాశే. అదెలాగో త్వరలోనే చూద్దాం. జీవిక కోసం జీవి భక్షించేది ‘రుణ ఎంట్రొపీ’ని. దీన్నే మరి కాస్త సరళంగా చెప్పువాలంటే metabolism లో ముఖ్యంగా జరిగేది ఇది – జీవి జీవించే ప్రయత్నంలో పుట్టించుకునే ఎంట్రొపీని ఎప్పటికప్పుడు వదిలించుకుంటూ జీవించగలుగుతుంది.

58. ఎంట్రొపీ అంటే ఏమిటి?

ఈ ఎంట్రోపీ అనేది ఏదో అయమయపు భావన కానేకాదు. అది చాలా నిర్దిష్టమైన రాశి. ఒక కడ్డీ యొక్క పొడవుకి మల్లె, ఒక వస్తువు యొక్క ఉష్ణోగ్రతకి మల్లె, ఒక స్ఫటిక యొక్క సంలగ్న ఉష్ణానికి (heat of fusion) మల్లె, ఒక పదార్థం యొక్క విశిష్టోష్ణానికి (specific heat) మల్లె అది కచ్చితంగా, సంఖ్యాత్మకంగా కొలువదగ్గ రాశి. నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద (ఇది సుమారు -273 డిగ్రీల C తో సమానం) ఏ పదార్థం యొక్క ఎంట్రోపీ అయినా సున్నాతో సమానం. ఆ స్థితి నుండి పదార్థాన్ని నెమ్మదిగా, చిన్న చిన్న ఉత్క్రమణీయ (మునుపటి స్థితికి చేరుకోగలిగే విధంగా, reversible) మెట్లలో మరేదైనా స్థితికి చేర్చినప్పుడు దాని ఎంట్రోపీ పెరుగుతుంది. ఆ స్థిరి మారే క్రమంలో ఆ పదార్థంలో భౌతిక, రసాయనిక మార్పులు వచ్చినా, వివిధ భౌతిక, రసాయనిక తత్వాలు గల పలు అంశాలుగా విడిపోయినా సరే ఎంట్రోపీ పెరుగుతుంది. అది ఎంత పెరుగుతుందో తెలిపే లెక్క కాస్త జటిలంగా ఉంటుంది. చిన్న చిన్న మెట్లలో పదార్థం యొక్క స్థితి మారుతున్నప్పుడు ఒక స్థితి నుండి తదుపరి స్థితికి మారడానికి అవసరమైన ఉష్ణం విలువని ఆ స్థితి వద్ద ఉండే నిరపేక్ష ఉష్ణోగ్రతతో భాగించినప్పుడు వచ్చే విలువలని తీసుకుని, అలా అన్ని మెట్ల వద్ద వచ్చిన విలువలని కలపగా వచ్చే మొత్తమే ఎంట్రోపీ. ఉదాహరణకి ఒక ఘనపదార్థాన్ని కరిగించినప్పుడు దాని heat of fusion ని దాని కరుగు స్థానం వద్ద ఉష్ణోగ్రతతో భాగించగా వచ్చిన విలువ ఆ పదార్థంలో పెరిగిన ఎంట్రోపీతో సమానం. దీన్ని బట్టి ఎంట్రోపీ యొక్క ఏకాంకం (unit) కాలరీ/C అని అర్థమవుతుంది. (కాలరీ అనేది ఉష్ణానికి ఏకాంకం).

59. ఎంట్రోపీకి గణాంక పరమైన అన్వయం

ఎంట్రోపీ యొక్క శాస్త్రీయ నిర్వచనాన్ని ఇక్కడ ఇవ్వవలసిన అవసరం కనిపిస్తోంది. సాధారణంగా ఎంట్రోపీ అనే భావన చుట్టూ ఎన్నో అయమయమైన, అవిస్పష్టమైన వివరణలు, వోకళ్లు చలామణిలో ఉంటాయి. ఆ మబ్బులని చెదరగొట్టడానికే ఇక్కడ శాస్త్రీయ నిర్వచనాన్ని ఇవ్వదలచాను. క్రమం అంటే ఏమిటి, క్రమరాహిత్యం అంటే ఏమిటి అన్న విషయం మీద గణాంక శాస్త్రం నుండి తెచ్చుకున్న కొన్ని భావనలు ఉన్నాయి. బోల్జ్మన్ (Boltzmann), గిబ్స్ (Gibbs) తదితరులు గణాంక భౌతిక శాస్త్రం (statistical physics) లో చేసిన అధ్యయనాల ఆధారంగా ఆ రెండిటి మధ్య (ఎంట్రోపీకి క్రమరాహిత్యానికి మధ్య) సంబంధాన్ని గణితపరంగా స్పష్టీకరించడానికి వీలయ్యింది. ఆ సంబంధాన్ని ఈ కింది సరళమైన సూత్రంతో అద్భుతంగా వ్యక్తం చెయ్యడానికి వీలవుతుంది –

ఎంట్రోపీ = k log D

K = 3.2983 x 10^{-24} cal./C ఇది బోల్జ్మన్ స్థిరాంకం (Boltzmann constant)

D = పరమాణు స్థాయిలో సదరు వస్తువులో ఉండే క్రమరాహిత్యాన్ని సంఖ్యాత్మకంగా వ్యక్తం చేస్తే వచ్చే విలువ

ఈ D అనే విలువ యొక్క అర్థాన్ని శాస్త్రపరిభాష వాడకుండా పొడిపొడి మాటల్లో చెప్పడం ఇంచుమించు అసంభవం. అది వ్యక్తం చేసే క్రమరాహిత్యం కొంత వరకు ఉష్ణచలనానికి సంబంధించినది, మరి కొంతవరకు రకరకాల పరమాణువులని, అణువులని నీటుగా పేరు

చెయ్యకుండా గందరగోళంగా కలపడం వల్ల పుట్టినది (పైన పేర్కొన్న ఉదాహరణలో నీట్లో కలిసిన చక్కెర అలాంటి వ్యవస్థకి ఉదాహరణ). పైన ఇవ్వబడ్డ బోల్ట్జ్మన్ సమీకరణానికి ఉదాహరణగా ఆ వ్యవస్థని పేర్కొనవచ్చు. నీటిలో చక్కెర బాగా కలిసినప్పుడు, నీటి అణువుల మధ్య చక్కెర అణువులు సమంగా విస్తరించినప్పుడు ఆ వ్యవస్థ యొక్క క్రమరాహిత్యం D బాగా పెరుగుతుంది. (మరి D పెరుగుతుంటే దాని logarithm లేదా సంవర్గమానం కూడా పెరుగుతుంది). కాబట్టి ఎంట్రొపీ కూడా పెరుగుతుంది. ఒక వస్తువులోకి ఉష్ణాన్ని పంపించినప్పుడు అందులోని ఉష్ణచలనం పెరుగుతుంది. దాని వల్ల D పెరుగుతుంది, అంటే ఎంట్రొపీ పెరుగుతుంది.

ఉదాహరణకి ఒక స్ఫటికని కరిగించినప్పుడు ఎంట్రొపీ ఎలా పెరుగుతుందో స్పష్టంగా అర్థమవుతుంది. స్ఫటిక కరుగుతున్నప్పుడు అందులో నీటుగా అమరిన పరమాణు వరసలు ధ్వంసం అవుతాయి. క్రమరాహిత్యం పెరుగుతుంది. అంటే D పెరుగుతుంది. ఎంట్రొపీ పెరుగుతుంది. ఏకాంత వ్యవస్థ (isolated system), అంటే సమమైన పరిసరాలలో ఉన్న వ్యవస్థ, అంతో ఇంతో వేగంగా ఎంట్రొపీ గరిష్ఠం అయ్యే జడ స్థితిని చేరుకుంటుంది. కాబట్టి ఇంతవరకు మనం చర్చిస్తున్న ఈ మౌలిక భౌతిక ధర్మం భౌతిక వస్తువులలో కల్లోలం దిశగా పరిణమించే ఒరవడిని (ఆ ఒరవడిని ఏదో విధంగా ఆపితే తప్ప) సూచిస్తుంది. గ్రంథాలయాలలో పుస్తకాల స్థానాలు తప్పి గందరగోళంగా మారే ఒరవడి దీనికి తార్కాణం. అలాగే మేజాపై మొదట్లో తీరుగా అమర్చిన కాగితాలు పోగా పోగా చిందరవందరగా మారే ఒరవడి కూడా దీనికే తార్కాణం. ఉష్ణచలనంలో గందరగోళంగా కదిలే అణువులకి పోలికగా, పై ఉదాహరణలో, వస్తువులని వాటి నిజ స్థానాలలో ఉంచకుండా చెల్లాచెదురు చేసే మన చేష్టలని తీసుకోవచ్చు.

60, పరిసరాలలోని 'క్రమాన్ని' లోనికి తీసుకుంటూ శరీరం యొక్క క్రమవిన్యాసాన్ని నిలుపుకోవడం

మృత్యువు లాంటి ఉష్ణగతిక సమతాస్థితి (thermodynamic equilibrium) దిశగా పతనం కాకుండా ఒక జీవ వ్యవస్థ తనని తాను నిలువరించుకునే అద్భుత సామర్థ్యాన్ని గణాంక సిద్ధాంతపు పరిభాషలో ఎలా వ్యక్తం చెయ్యగలం? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానంగా అంతకు ముందు "అది రుణ ఎంట్రొపీని భక్షిస్తుంది" అని చెప్పుకున్నాం. అంటే జీవ వ్యవస్థ తనలో అనుక్షణం పెరుగుతున్న ఎంట్రొపీని పరిహరించుకోడానికి బయటి నుండి రుణ ఎంట్రొపీ ధారని తన లోనికి ఆకర్షించుకుంటుంది. ఆ విధంగా జీవ వ్యవస్థ తనలోని ఎంట్రొపీని తక్కువ స్థాయి వద్ద నిశ్చలంగా ఉంచుకుంటూ సజీవంగా నిలుస్తుంది. D క్రమరాహిత్యానికి కొలమానం అయితే దాని వ్యుత్క్రమం (reciprocal) క్రమానికి కొలమానం అవుతుంది. లాగరిథమ్ యొక్క లక్షణాల బట్టి మనకు
$\log(1/D) = -\log(D)$

అని తెలుస్తుంది. కాబట్టి

-ఎంట్రొపీ = $k \log(1/D)$

ఆ విధంగా 'రుణ ఎంట్రొపీ' అనే వికారమైన పేరు స్థానంలో ఒక మరింత సముచితమైన పేరును వాడడానికి వీలవుతుంది. అదే,

- ఎంట్రొపీ'

ఎంట్రొపీ అనే పదం ముందు 'మైనస్' చిహ్నం ఉందని గుర్తించాలి. ఒక జీవవ్యవస్థ గొప్ప క్రమంతో కూడుకున్న అంతరంగ విన్యాసంతో దీర్ఘకాలం నిలవాలంటే, అది చుట్టూ పరిసరాలలో ఉండే క్రమాన్ని నిరంతరం జుర్రుకుంటూ ఉండాలి. ఈ వాక్యంలో మొదట్లో

కొంచెం అంతర్విరుధ్యం ఉన్నట్లు ధ్వనించినా లోతుగా పరిశీలిస్తే అందులోని నిజం తేటతెల్లం అవుతుంది. శాస్త్ర పరిభాష ముసుగులో చాలా అల్పమైన విషయాన్ని చెప్తున్నాం అనే అభియోగం కూడా రావచ్చు.

కాస్త ఉన్నతమైన జంతువులనే తీసుకుంటే అవి ఏ రకమైన క్రమంతో కూడిన పదార్థాలు భక్షిస్తాయో మనకి బాగా తెలుసు – అవి తినే పదార్థాలు అంతో ఇంతో క్రమమైన అంతరంగ నిర్మాణం గల కర్బన రసాయన పదార్థాలు. ఆ ఆహారాన్ని వినియోగించుకున్నాక దాన్ని మరింత భ్రష్టమైన రూపంలోకి మారుస్తాయి. ఆ భష్టరూపం (జంతువుల పేడ) పూర్తిగా భ్రష్టం కాకున్నా అది మొక్కలు వాడుకునే విధంగా ఉంటుంది. ఇక మొక్కల విషయాన్నే తీసుకుంటే వాటికి పుష్కలంగా 'రుణ ఎంట్రోపీ' ని సరఫరా చేసే మూలం ఒకటి ఉంది – అదే సూర్య కాంతి.

అధ్యాయం 6 మీద వ్యాఖ్యానం

'రుణ ఎంట్రోపీ' మీద నేను చేసిన వ్యాఖ్యలు నా తోటి భౌతిక శాస్త్రవేత్తల మనసుల్లో ఎన్నో సందేహాలని రేకెత్తించాయి, ఎంతో వ్యతిరేకతని పుట్టించాయి. అయితే ఇక్కడ ఒక విషయాన్ని స్పష్టీకరించాలి. నేను భౌతికశాస్త్రవేత్తలని మాత్రమే దృష్టిలో ఉంచుకుని మాట్లాడినట్లయితే, చర్చని “ఉచిత శక్తి” (free energy) దిశగా మళ్లించి ఉండేవాణ్ణి. ఈ సందర్భంలో అది మరింత సుపరిచితమైన భావన. కాని ఈ “ఉచిత శక్తి” అనే శబ్ద ద్వయం బాగా లోతైన సాంకేతిక అర్థం గలది. సాంకేతిక అర్థం తెలియక, కేవలం భాషా పరంగా చూసినప్పుడు, ఒక సగటు పాఠకుడి దృష్టిలో దాని అర్థం “శక్తి” అనే స్ఫురిస్తుంది గాని మరోలా అర్థం కాదు. “శక్తి” కి, “ఉచిత శక్తి”కి మధ్య చాలా తేడా ఉందన్న సంగతి మామూలు పాఠకుడికి అర్థం కాదు. కేవలం అలంకారం కోసం వాడే పరిభాష అనుకుంటారు గాని, దానికొక సముచితార్థం ఉందనుకోరు. కాని దానికి చాలా సూక్ష్మమైన అర్థం వుంది. ముఖ్యంగా బోల్ట్జ్ మన్ చెప్పిన “క్రమం – క్రమరాహిత్యం” సూత్రానికి, ఎంట్రోపీకి (లేదా 'రుణ ఎంట్రోపీ'కి) మధ్య సంబంధాన్ని విశదీకరించడం కన్నా, “ఉచిత శక్తి”తో సంబంధాన్ని ఎత్తి చూపడం మరింత సులభం. (మరో విషయం... ఈ 'రుణ ఎంట్రోపీ' అనే భావన నా

సొంతం కాదని, అది ముందే ఉందని మీతో మనవి చేసుకోవాలి.) బోల్ట్జ్ మన్ చేసిన తొలి వాదనలన్నీ ఈ సూత్రం మీదే నిలుపబడ్డాయి.
కాని నేను ప్రతిపాదించిన ప్రాథమికమైన ఉష్ణగతిక వాదనలలో కొంత అసంపూర్తి వుందని ఎఫ్. సైమన్ చేసిన సూచనలు సబబుగానే ఉన్నాయని ఒప్పుకుంటున్నాను. ఓ వజ్రాల ముద్దనో, బొగ్గు ముక్కనో కాక, "అంతో ఇంతో క్రమబద్ధీకృతమైన కర్బన రసాయన సంయోగాలని" ప్రాణులు తప్పకుండా తినాల్సిన అవసరం వుందనే తీర్మానానికి మద్దతుగా నేను ప్రతిపాదించిన ప్రాథమికమైన ఉష్ణగతిక వాదనలు పొసగవని అతడు అంటాడు. అతడు అన్నది నిజమే. అయితే పెద్దగా శాస్త్రప్రవేశం లేని సామాన్య పాఠకుడికి ఇక్కడ నేను ఒక విషయం విన్నవించుకోవాలి. మండని బొగ్గు ముక్కనో, వజ్రపు ముక్కనో తీసుకుంటే, దాన్ని మండించడానికి అవసరమయ్యే ఆక్సిజన్ ని కూడా కలుపుకుంటే, అది చాలా క్రమబద్ధమైన స్థితిలో ఉందనే ఒప్పుకోవాలి. భౌతిక శాస్త్రవేత్త కళ్లకి మరి అది అలాగే కనిపిస్తుంది. కావాలంటే ఈ విషయం ఓ సారి ఆలోచించండి. ఆ బొగ్గునే మండనిస్తే బోలెడంత ఉష్ణం పుడుతుంది. ఆ ఉష్ణాన్ని పర్యావరణంలోకి వదిలించుకునే ప్రయత్నంలో, ఆ వ్యవస్థ గణనీయంగా పెరిగిన ఎంట్రొపీని కూడా వదిలించుకుని, మళ్లీ మొదట ఉండే ఎంట్రొపీ స్థాయిని చేరుకుంటుంది. మొదట్లో ఎంత ఎంట్రొపీ ఉండేదో చివరి స్థితిలో కూడా సుమారు అంతే ఎంట్రొపీ ఉంటుంది. అలాగని ఆ చర్య లోనుండి వెలువడే కార్బన్ డయాక్సయిడ్ ని లోనికి తీసుకము.

కాబట్టి ఆహారంలోని శక్తి మోతాదు ఎంత ఉంది అన్న ప్రశ్న అప్రస్తుతం కాదని సైమన్ అనడం పూర్తిగా సమంజసమైనదే. కాబట్టి హోటళ్లలో మెనూ కార్డ్ లని నేను అపహాస్యం చేసిన వైనం కూడా సరి కాదన్నమాట. మన శరీరం వెచ్చించే యాంత్రిక శ్రమ కోసమే కాక, మన ఒంట్లోంచి నిరంతరం పర్యావరణం లోకి పారద్రోలబడే ఉష్ణం కోసం కూడా మనకి శక్తి కావాలి. మన శరీరం లోనుండి ఉష్ణం వెలువడడానికి కారణం కేవలం కాకతాళీయం కాదు, అది అత్యవసరం. ఉష్ణం ద్వారానే మన శరీరంలోని భౌతిక జీవప్రక్రియల లోనుండి పుట్టే అదనపు ఎంట్రొపీని వదిలించుకోగలుగుతున్నాం. దీన్ని బట్టి ఉడుకు రక్తం గల జంతువులు హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత కలిగి ఉండడం వెనుక ఒక కారణం కనిపిస్తోంది. అధిక

ఉష్ణోగ్రత వద్ద అవి మరింత వేగంగా తమ ఎంట్రోపీని వదిలించుకోగలుగుతూ, మరింత శక్తివంతంగా, సక్రియంగా జీవించగలుగుతాయి. ఈ వాదన మరి ఎంతవరకు సత్యమో నాకు తెలీదు (ఈ వాదన నాదేనని, సైమన్ ది కాదని మనవి చేసుకుంటున్నాను.) పై వాదనకి వ్యతిరేకంగా కూడా వాదించొచ్చు. ఉడుకు రక్తం గల జంతువుల్లో వేడిమి వేగంగా నష్టం కాకుండా వాటి ఒంటి మీద బొచ్చు కాపాడుతూ ఉండొచ్చు. కాబట్టి దేహం యొక్క ఉష్ణోగ్రతకి, సక్రియమైన జీవనం సాగించడానికి మధ్య నేను ఉందని నమ్ముతున్న సంబంధాన్ని (పేజి **** లో వర్ణించబడ్డ) వాంట్ హోఫ్ నియమంతో సమర్ధించవలసి ఉంటుంది. అధిక ఉష్ణోగ్రతల వద్ద జీవరసాయన చర్యలు మరింత వేగవంతం అవుతాయి. (పరిసరాలతో సమానమైన ఉష్ణోగ్రతను కలిగి ఉండే జీవజాతుల విషయంలో ఈ సూత్రం నిజమేనని ప్రయోగాత్మకంగా నిరూపించబడింది.)

అధ్యాయం 7

జీవం భౌతిక ధర్మాలని అనుసరిస్తుందా?

61. జీవవ్యవస్థల్లో నూతన ధర్మాలు ఆవిష్కరింపబడే అవకాశం వుంది

కిందటి అధ్యాయంలో నేను చెప్పదలచుకున్నది ఒక్క మాటలో చెప్పాలంటే, జీవపదార్థం గురించి ఇంతవరకు మనకి తెలిసిన దాన్నంతటినీ కలిపి పరిశీలిస్తే, దాని పనితీరుని అర్థం చేసుకోడానికి ఇంతవరకు మనకి తెలిసిన సామాన్య భౌతిక ధర్మాలు సరిపోకపోవచ్చని అనుకోవలసి వస్తుంది. దానికి కారణం జీవపదార్థంలో మనకి తెలియని ఏదో "కొత్త శక్తి" పని చేయడం కాకపోవచ్చు. దానికి కారణం భౌతిక ప్రయోగశాలలో ఇంతవరకు మనం చూసిన, నిర్మించిన ఏ వ్యవస్థ కన్నా కూడా జీవపదార్థం యొక్క నిర్మాణం చాలా భిన్నంగా ఉండడమే. కాస్త సరళమైన ఉపమానాన్ని ఇవ్వాలంటే, కేవలం ఉష్ణ యంత్రాలని మాత్రమే చూసిన ఇంజినీరు, విద్యుత్ మోటారు యొక్క అంతరంగ నిర్మాణాన్ని చూశాక అది తనకి తెలియని ఏవో కొత్త సూత్రాల మీద పని చేస్తోందని నిర్ణయానికి వస్తాడు. ఇక్కడ కూడా తనకి మునుపు తెలిసిన రాగి కనిపిస్తుంది – అయితే అది చుట్లుగా చుట్టబడ్డ పొడవాటి తీగ రూపంలో కనిపిస్తుంది. ఆవిరి సిలిండర్ల లోను, కడ్డీలలోను, లీవర్ల లోను కనిపించే ఇనుము, ఇప్పుడు రాగితీగ చుట్ల లోపల ఉండే ఖాళీలని పూరిస్తూ కనిపిస్తుంది. అక్కడి ఇనుము, ఇక్కడి ఇనుము ఒక్కటే. అక్కడి రాగి, ఇక్కడి రాగి ఒక్కటే. రెండు సందర్భాల లోను వాటి ధర్మాలు ఒక్కటే. ధర్మాలు ఒకటే

అయినా, నిర్మాణం వేరు కనుక రెండు వ్యవస్థల పని తీరు చాలా వేరుగా ఉంటుందని అనుకోక తప్పదు. ఆవిరి లేకుండా, మంట లేకుండా స్విచ్చి వేయగానే గిర్రున తిరుగుతుంది కనుక విద్యుత్ మోటారులో ఏ దెయ్యమో వుందని అనుకుని ఇంజినీరు పొరబడడు. ఒక వ్యక్తి తన మాటలని తాను ఎన్నడూ వ్యతిరేకించుకోలేకపోతే అందుకు కారణం తాను జీవితంలో ఎప్పుడూ మాట్లాడకపోవడమే కావచ్చు.

62. జీవశాస్త్ర పరంగా ప్రస్తుత పరిస్థితి యొక్క సమీక్ష

ఒక ప్రాణి యొక్క జీవనచక్రంలో క్రమంగా వెల్లడి అయ్యే ఘటనలలో గొప్ప క్రమబద్ధత, ఆవృత్తి కనిపిస్తుంది. జీవరహిత పదార్థంలో ఎక్కడా అలాంటి క్రమబద్ధత, ఆవృత్తి కనిపించదు. కణంలో గొప్ప క్రమబద్ధతతో కూడుకున్న పరమాణువుల సమూహం ఆ జీవన చక్రాన్ని శాసిస్తుంది. ఆ సమూహం కూడా కణంలో ఉండే మొత్తం పరమాణు రాశిలో చాలా చిన్న భాగం మాత్రమే. ఉత్పరివర్తనల తీరుతెన్నుల గురించి ఇంతవరకు మనకు కలిగిన అవగాహన బట్టి ఒక విషయం అర్థమవుతోంది. బీజకణంలో (germ cell) కొన్ని "పాలక పరమాణువుల" లో కాస్తత భంగపాటు కలిగితే చాలు, ఆ ప్రాణి యొక్క అనువంశిక లక్షణాలలో భారీ ఎత్తున మార్పులు జరగవచ్చని అర్థమవుతోంది. విజ్ఞాన శాస్త్రంలో నేడు మనకి తెలిసిన అత్యంత ఆసక్తికరమైన వాస్తవాలలో ఇది కూడా ఒకటి. అయితే ఆ వాస్తవాన్ని సమ్మతించడం కష్టంగా అనిపించవచ్చు. జీవవ్యవస్థ తన చుట్టూ ఉండే పర్యావరణం నుండి "క్రమత్వపు ధారని" తన వైపుగా ఆకర్షించుకుంటూ, ఆ "క్రమబద్ధతని జుర్రుకుంటూ", పరమాణుస్థాయి కల్లోలం లోకి పతనం కాకుండా తనను తాను రక్షించుకుంటుంది. అది జీవవ్యవస్థ యొక్క ప్రత్యేక సామర్థ్యం అన్నమాట. అది

ప్రకృతి ఇచ్చిన బహుమతి. ఆ బహుమతికి కణం లోతుల్లో ఉండే “అనావర్తక ఘనపదార్థాలకి” అంటే క్రోమోజోమ్ లకి ఏదో సంబంధం వుందని అనిపిస్తుంది. మనకి తెలిసిన పరమాణు సమూహాలు అన్నిటికన్నా ఉన్నతమైన క్రమబద్ధత గల పరమాణు సమూహాలు ఈ క్రోమోజోమ్ లు. గొప్ప ఆవృత్తి గల మామూలు స్ఫటికల కన్నా ఉన్నతమైన క్రమబద్ధత గలవి క్రోమోజోమ్ లు. ఎందుకంటే స్ఫటికతో పోల్చితే క్రోమోజోమ్ లో ప్రతీ పరమాణువు, ప్రతీ పరమాణువుల గుంపు (radical) ఎంతో విశేషమైన, వ్యక్తిగతమైన పాత్రని పోషిస్తుంది. ఇంతవరకు చెప్పుకున్న దానికి తాత్పర్యంగా చెప్పేది ఏమిటంటే, జీవరసాయన వ్యవస్థలో గొప్ప క్రమత్వాన్ని నిలుపుకోవడమే కాక, క్రమత్వంతో కూడుకున్న ఘటనలకి పుట్టించే సామర్థ్యం కూడా వుంది. ఇలాంటి వివరణ సమంజసమే అనిపిస్తోంది. జీవకోటి యొక్క వ్యవహారాల మీద ఆధారపడుతూ సామాజిక వ్యవస్థీకరణ జరిగే తీరు ఈ సందర్భంలో మన మనసులో మెదులుతుంది. అణువుల స్థాయిలో ఉండే క్రబద్ధత ప్రాణుల స్థాయిలో ప్రతిఫలించినట్టే, ప్రాణుల స్థాయిలో ఉండే క్రమబద్ధత సామాజిక వ్యవస్థీకరణలో ప్రతిబింబిస్తుంది. ఆ విధంగా చూస్తే సూక్ష్మస్థాయికి, స్థూల స్థాయికి మధ్య ఒక రకమైన పరస్పర సంబంధం ఉన్నట్టు కనిపిస్తుంది.

63. భౌతికశాస్త్ర పరంగా ప్రస్తుత పరిస్థితి యొక్క సమీక్ష

ఒక విషయం మాత్రం ఇక్కడ మళ్లీ మళ్లీ నొక్కి చెప్పాల్సి ఉంటుంది. తక్కిన రంగాల దృక్పథాల మాట ఎలా ఉన్నా, భౌతిక శాస్త్ర దృక్పథంలో మాత్రం ఈ స్థితి చాలా అసమంజసమైనది. అయితే ఇలాంటి పరిస్థితి ఇంతకు ముందెన్నడూ మనకు ఎదురుపడలేదు కనుక దాని శోధన చాలా ఆసక్తికరంగా ఉంటుంది. భౌతిక ధర్మాల పరంగా చూస్తే, గొప్ప కమబద్ధత కలిగిన అణువిన్యాసం వల్ల క్రమమైన ఆవృత్తితో కూడుకున్న పరిణామం జరుగుతుందని అనుకోవడం పొరబాటు. ***

ప్రయోగశాలలో ఒక రసాయనిక శాస్త్రవేత్త ఓ కొత్త అణువుతో వ్యవహరిస్తున్న సమయంలో కూడా అతడు అధిక సంఖ్యలో అణువులతో వ్యవహరిస్తుంటాడు. ఆ పరిస్థితుల్లో రసాయనిక ధర్మాలన్నీ పూర్తిగా వర్తిస్తాయి. ఉదాహరణకి, ఒక ప్రయోగం మొదలైన ఒక నిముషం తరువాత మొదట్లో ఉన్న అణువులలో సగం భాగం చర్య జరపడం అతడికి కనిపిస్తుంది. రెండవ నిముషం తరువాత ముప్పావు వంతుల భాగం చర్య జరపడం కనిపిస్తుంది. కాని ఆ అణురాశిలో ఒక ప్రత్యేక అణువు ఒక నియత సమయంలో చర్య జరుపుతుందా లేదా అన్నది ముందే చెప్పడం అసాధ్యం. అది పూర్తిగా యాదృచ్ఛికమైన విషయం.

ఇది పూర్తిగా సైద్ధాంతిక వాదన కాదు. ఒక ప్రత్యేక పరమాణువుని గాని, కొద్దిపాటి పరమాణువుల గుంపును గాని మనం ఎన్నడూ పరిశీలించలేదని కాదు. కొన్ని సందర్భాలలో అలాంటి పరిశీలనలు కూడా చెయ్యగలిగాము. కాని అలాంటి పరిశీలనలు ఎప్పుడు జరిపినా అందులో పూర్తి క్రమరాహిత్యం కనిపిస్తుంది. అధిక సంఖ్యలో అణువులు ఒకదాంతో ఒకటి సహకరిస్తూ సమిష్టి స్థాయిలో క్రమబద్ధతను ప్రదర్శింటాయి అంతే.

వ్యక్తిగత స్థాయిలో మాత్రం అణువుల ప్రవర్తన పూర్తిగా యాదృచ్ఛికంగా ఉంటుంది. అధ్యాయం 1 లో దీనికి సంబంధించిన ఒక ఉదాహరణని పేర్కొన్నాను. బ్రౌనియన్ చలనాన్నే తీసుకుందాం. ఈ రకమైన చలనంలో, ద్రవంలో ఉంచబడ్డ ఒక చిన్న రేణువు యొక్క చలనం పూర్తిగా క్రమరహితంగా ఉంటుంది. కాని అలాంటి రేణువులు అనేక్ సంఖ్యలో ఉంటే వాటి సమిష్టి చలనం 'వ్యాపనం' (diffusion) అనే చలనానికి దారి తీస్తుంది. అలాంటిదే మరో ఉదాహరణ. ఒక ఏకైక రేడియో ధార్మిక పరమాణువు యొక్క విచ్ఛిత్తిని పరిశీలించడం సంభవమే. (ఎందుకంటే దాని విచ్ఛిత్తిలో నుండి పుట్టిన మరో రేణువు ప్రతిదీప్త (fluorescent) తెర మీద పడ్డప్పుడు మెరుస్తుంది.) కాని అలాంటి ఒక రేడియో ధార్మిక పరమాణువు యొక్క ఆయుర్దాయం ఎంతో కచ్చితంగా చెప్పడం కష్టం. ఒక ఆరోగ్యవంతమైన పిచ్చుక ఆయుర్దాయాన్ని ఎంత కచ్చితంగా చెప్పగలమో, ఇదీ అంతే. నిజానికి దాని పరిణామం గురించి కచ్చితంగా చెప్పాలంటే ఇంతకి మించి మరేమీ చెప్పలేము – మరుసటి క్షణంలో అది విచ్ఛిన్నం చెందే సంభావ్యత మాత్రం, అది పెద్దదైనా చిన్నదైనా సరే, ఎప్పుడూ మారదు. వ్యక్తిగత స్థాయిలో భవిష్యత్తుని కచ్చితంగా నిర్ణయించడం అంత కష్టం కనుకనే సమిష్టి స్థాయిలో, అనేక రేడియో ధార్మిక పరమాణువుల సమిష్టి పరిణామాన్ని శాసించే ఘాతాంక పతన నియమం (exponential law of decay) అనే నియమం ఏర్పడుతుంది.

64. జీవశాస్త్రానికి, భౌతిక శాస్త్రానికి మధ్య వ్యత్యాసం

జీవశాస్త్రంలో మనకి చాలా భిన్నమైన పరిస్థితి కనిపిస్తుంది. ఒకే ప్రతిగా ఉన్న ఒక ప్రత్యేక పరమాణు సమూహానికి కూడా ఎంతో కచ్చితమైన, క్రమబద్ధమైన ప్రభావం ఉంటుంది. దాని వల్ల కణంలో ఎంతో క్రమబద్ధతతో కూడిన సంఘటనలు వరుసగా జరగడం

కనిపిస్తుంది. ఆ సంఘటనలకి, అవి ఉన్న పరిసరాలకి మధ్య చాలా కచ్చితమైన, కుదురైన సంబద్ధం ఉండడం కూడా కనిపిస్తుంది. ఒకే ప్రతి ఉంటుంది అని ఎందుకు అంటున్నాను అంటే అందుకి ఉదాహరణలు మనకి తెలుసు. అండకణం, ఏకకణ జీవి అందుకు ఉదాహరణలు. అలా ఏక కణ జీవిగా ఆరంభం అయిన జీవి ఎదిగాక, మొదట్లో ఉన్న అణువు యొక్క అనేక ప్రతులు (copies) ఏర్పడతాయి. అలా ఎన్ని ప్రతులు ఏర్పడతాయి? ఎదిగిన జీవిలో ఎన్ని కణాలు ఉంటాయో అన్ని ప్రతులు ఏర్పడతాయి. ఎదిగిన స్తన్యజీవిలో ఆ సంఖ్య సుమారు 10^{14} స్థాయిలో ఉంటుంది. (అది నిజానికి అంత పెద్ద సంఖ్య ఏమీ కాదు. ఒక ఘన అంగుళంలో పట్టే గాలిలో ఉండే పరమాణువుల సంఖ్య అన్నమాట. చూడడానికి పెద్ద ఘనపరిమాణంలా అనిపిస్తుంది గాని అందులోని అణువులన్నీ ఘనీభవిస్తే ఒక ద్రవపు బొట్టు ఏర్పడుతుంది అంతే.) అంతేకాక జీవి దేహంలో ఆ ప్రతులు విస్తరించే విధానాన్ని ఒకసారి గమనించాలి. ప్రతీ కణం లోను ఒకే ప్రతి ఉంటుంది (మహా అయితే diploidy ఉంటుందని గుర్తుపెట్టుకుంటే రెండు ప్రతులు ఉంటాయి). ప్రతీ కణంలోను ఉండే ఆ ఏకైక ప్రతి ఒక రకమైన కేంద్ర కార్యాలయం వంటిది అని ఊహించుకోవచ్చు. అలా శరీరం అంతటా విస్తరించిన ఆ కేంద్ర కార్యాలయాలు ఒక దాంతో ఒకటి సులభంగా సంభాషించుకుంటాయి, సమాచారాన్ని ఇచ్చిపుచ్చుకుంటాయి. ఎందుకంటే వాటి వృత్తులకి ఆధారమై ఉండే పరిభాష ఒక్కటే, code ఒక్కటే. ఊహలకి రెక్కలు వస్తున్నాయని ఇక్కడ పాఠకులు అభ్యంతరం చెప్పొచ్చు. ఇలాంటి ధోరణి శాస్త్రీయం కాకపోవచ్చని, ఇది కవులకో, తాత్వికులకో చెల్లుతుందని ఫిర్యాదు చెయ్యొచ్చు.

అయితే ఇది కేవలం విశృంఖల ఊహాగానం కాదని సులభంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు. ప్రస్తుతం మనకి కనిపిస్తుంది అత్యంత క్రమబద్ధమైన పరిణామాన్ని భౌతిక శాస్త్రంలో మనకి తెలిసిన 'సంభావ్యతా యంత్రాంగం' తో వివరించలేమని, ఇది చాలా భిన్నమైన వ్యవహారం

అని సులభంగా తెలుసుకోగలము. ప్రయోగాత్మక పరిశీలనల నుండి మనకు రెండు వాస్తవాలు స్పష్టంగా తెలుస్తున్నాయి. మొదటి వాస్తవం ఏమిటంటే కణంలో జరిగే వ్యవహారాలు అన్నిటికీ మార్గనిర్దేశం చేసే అంశం ఒక పరమాణు సముదాయం అని, కణంలో దానికి ఒకే ప్రతి ఉంటుందని (కొన్ని సార్లు రెండు కూడా ఉంటాయి) అని తెలుస్తోంది. రెండవ వాస్తవం ఏమిటంటే కణంలో మనకి కనిపించే అతిశయమైన క్రమబద్ధతతో కూడుకున్న సంఘటనలు అన్నిటికీ ఆ పరమాణు సముదాయమే కారణం. ఈ విధంగా గొప్ప క్రమబద్ధతతో కూడుకున్న పరమాణు సముదాయం ఈ విధంగా పని చెయ్యడం చాలా ఆశ్చర్యం కలిగిస్తుంది. మరి జీవపదార్థంలో తప్ప అలాంటి తార్కాణం మనకి జీవరహిత పదార్థంలో ఎక్కడా కనిపించదు. జీవరహిత పదార్థాన్ని విశ్లేషించే భౌతిక, రసాయన శాస్త్రవేత్తలకి ఇలాంటి ప్రవర్తన ఎక్కడా కనిపించదు. అలాంటి ప్రవర్తనని మునుపు ఎన్నడూ అధ్యయనం చెయ్యలేదు కనుక ప్రస్తుతం మనకి తెలిసిన సిద్ధాంతానికి ఇంతవరకు దాన్ని వివరించవలసిన అవసరం ఏర్పడలేదు. మనకి అత్యంత ప్రీతిపాత్రమైన, మనం ఎంతో గర్వపడే, గణాంక శాస్త్రం (statistical theory) మనకి మరింత ముందుకు తీసుకుపోతూ తెర అవతల ఏముందో చూపిస్తోంది. అణువుల, పరమాణువుల స్థాయిలో ఉండే కల్లోలం లో నుండి క్రమం ఎలా ఉద్భవిస్తుందో చెప్పే భౌతిక ధర్మాలని అది సూచించగల్గుతోంది. సార్వజనీనమైన ఎంట్రొపీ నియమం కేవలం పరమాణు కల్లోలాన్నే కాక, అద్భుతమైన క్రమాన్ని కూడా ఎలా వివరించగలుగుతుందో ఆ సిద్ధాంతం సూచిస్తోంది.

65. క్రమబద్ధతను సాధించడానికి రెండు మార్గాలు

జీవవికాస క్రమంలో మనకి ఎదురయ్యే క్రమానికి మరో మూలం కూడా వుంది. క్రమబద్ధమైన ఘటనలని సాధించడానికి రెండు మార్గాలు ఉన్నాయి. మొదటిది ఇంతకు ముందే మనం చెప్పుకున్న 'గణాంక యంత్రాంగం.' ఇది కల్లోలం నుండి క్రమం ఎలా పుడుతుందో చెబుతుంది. రెండవది క్రమం నుండి క్రమం ఎలా ఏర్పడుతుందో చెప్తుంది. సామాన్యుల దృష్టికి రెండవ మార్గం మరింత సహజంగా, సమంజసంగా తోచుతుంది. ఒక విధంగా నిజమే ననిపిస్తుంది. అందుకే భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు తమకి మొదటి మార్గమే నచ్చుతుందని గర్వంగా చాటుకుంటారు. 'క్రమరాహిత్యం నుండి క్రమం' అనే సూత్రాన్ని అనుసరించే ప్రకృతి క్రమత్వాన్ని సాధిస్తుంది. అన్నిటికన్నా ముఖ్యంగా అనుత్క్రమణీయత (irreversibility) అనే లక్షణం కూడా దాని నుండే పుడుతోంది. కాని దాని నుండి పుట్టిన 'భౌతిక శాస్త్ర ధర్మాలు' ఉన్నపళాన జీవపదార్థపు ప్రవర్తనని వివరించగలవని ఆశించడం కష్టమే. ఎందుకంటే జీవపదార్థపు ప్రవర్తన చాలా మటుకు 'క్రమం నుండి క్రమం' అనే సూత్రం మీద ఆధారపడుతుంది. రెండు పూర్తిగా భిన్నమైన యంత్రాంగాల నుండి ఒకే ధర్మం పుడుతుందని అనుకోవడం కష్టమే. మీ ఇంటి తాళం చెవి మీ పొరుగింటి తాళాన్ని కూడా తెరుస్తుందని అనుకోము కదా? అలాగని సామాన్య భౌతిక శాస్త్ర ధర్మాల సహాయంతో జీవవ్యవహారాల వర్ణన మరీ కష్టంగా ఉందని నిరుత్సాహ పడిపోకూడదు. జీవపదార్థం యొక్క అంతరంగ నిర్మాణం గురించి ఇంతకాలం చేసిన శోధన ఫలితంగా మనకి అర్థమయ్యింది ఇదీ. దీని వల్ల సాధ్యం కాకపోతే, జీవపదార్థపు ప్రవర్తనని శాసించే ఏవో కొత్త భౌతిక ధర్మాలని కనిపెట్టాలి. లేదా జీవపదార్థాన్ని ఏదో అభౌతిక ధర్మం, లేదా పారభౌతిక ధర్మం శాసిస్తోంది అనయినా ఒప్పుకోవాలి.

66. ఈ కొత్త సూత్రం భౌతిక ధర్మాలకి వ్యతిరేకం కాదు

మనం వెదకులాడుతున్న ఆ కొత్త సూత్రం భౌతిక ధర్మాలకి వ్యతిరేకం అనుకోను. అది పూర్తిగా ఏదో భౌతిక ధర్మమే అయ్యుంటుందని నా నమ్మకం. నిజం చెప్పాలంటే అది క్వాంటం సిద్ధాంతం యొక్క మారురూపం తప్ప మరేమీ కాదని నాకు అనిపిస్తుంది. అదెలాగో వివరించాలంటే ఇందులోకి కొంత లోతుగా వెళ్లాలి. 'భౌతిక ధర్మాలన్నీ గణాంకాల మీద ఆధారపడినవే' అని లోగడ చేసిన ఒక ప్రతిపాదనకి ఇక్కడ మరిన్ని మెరుగులు దిద్దాలి.

ఎందుకంటే ఆ వాక్యాన్ని పదే పదే చాటితే వివాదాలు తలెత్తక మానవు. ఎందుకంటే 'క్రమం నుండి క్రమం' అనే ప్రాతిపదిక మీద పని చేసే జీవవ్యవహారాలు మనకి కొట్టొచ్చినట్టు కనిపిస్తుంటాయి. ఆ సూత్రానికి, అణు కల్లోలానికి, గణాంక నియమాలకి మధ్య సంబంధం ఉన్నట్టు కనిపించదు.

ఉదాహరణకి సౌరమండలంలో గ్రహచలనాలలో మనకి కనిపించే క్రమం శాశ్వతంగా నిలుస్తుంది అనిపిస్తుంది. అలాగే పిరమిడ్ల కాలంలో ఒక ప్రత్యేక తారారాశి యొక్క స్థానానికి, ప్రస్తుతం అదే తారారాశి యొక్క స్థానానికి మధ్య సంబంధాన్ని కచ్చితంగా నిర్వచించవచ్చు. గతం నుండి వర్తమానానికి, వర్తమానం నుండి గతానికి ఆ సంబంధాలని లెక్కించవచ్చు. చరిత్రలో చెప్పుకోబడ్డ గ్రహణ కాలాలని సిద్ధాంత పరంగా లెక్కించి, అలా లెక్కించ బడ్డ కాలాలు చారిత్రక కాలాలతో కచ్చితంగా సరిపోతున్నట్టు నిర్ధారించిన సందర్భాలు ఎన్నో ఉన్నాయి. కొన్ని సందర్భాలలో చారిత్రక ఘట్టాల కాలక్రమాన్ని ఈ లెక్కల సహాయంతో సవరించడానికి కూడా వీలయ్యింది. ఈ లెక్కల్లో ఎక్కడా గణాంకాల ప్రసక్తి రాదు. ఇవన్నీ న్యూటన్ చెప్పిన విశ్వజనీన గురుత్వ సిద్ధాంతం (universal law of gravitation) మీద ఆధారపడ్డ లెక్కలు. అలాగే క్రమం తప్పకుండా నడిచే గడియారపు

చలనాలకి కూడా గణాంకాలతో ఎక్కడా సంబంధం ఉన్నట్టు కనిపించదు. ఒక్క మాటలో చెప్పాలంటే పూర్తిగా యాంత్రికమైన (mechanical) ఘటనలన్నీ 'క్రమం నుండి క్రమం' అనే సూత్రం మీద పని చేస్తున్నట్టు కనిపిస్తుంది. అయితే ఇక్కడ మనం 'యాంత్రిక' అనే పదాన్ని చాలా విస్తారమైన అర్థంలో తీసుకోవాలి. చక్కని క్రమంతో వెలువడే విద్యుత్ స్ఫోటాల (electric pulses) మీద పని చేసే గడియారాలు కూడా ఉన్నాయి. 'గతి ధర్మాలకి, గణాంక ధర్మాలకి మధ్య భేదం' అనే అంశం మీద మాక్స్ ప్లాంక్ రాసిన ఓ చక్కని, ఆసక్తికరమైన వ్యాసాన్ని ఇక్కడ మనం స్మరించాలి. అదే భేదాన్నే ప్రస్తుతం మనం 'క్రమం నుండి క్రమం' అనే సూత్రానికి, 'క్రమరాహిత్యం నుండి క్రమం' అనే సూత్రానికి మధ్య తేడాగా వర్ణిస్తున్నాము. బృహత్ స్థాయిలో ఘటనలని వర్ణించే గణాంక ధర్మాలని, కురచ స్థాయిలో ఘటనలని వర్ణించే గతినియమాలని కూర్చుతూ ఎలా సాధించవచ్చో ఆ వ్యాసం చెప్తుంది. బృహత్ స్థాయి చలనాలు అంటే గ్రహచలనాలు, గడియారపు చలనాలు మొదలైనవి అన్నమాట. కురచ స్థాయి చలనాలంటే అణువుల, పరమాణువుల స్థాయి చలనాలు అన్నమాట.

కాబట్టి జీవరహస్యాన్ని అర్థం చేసుకోడానికి ఇంతవరకు మనం ఏ సూత్రం అయితే అత్యవసరం అని అనుకున్నామో, ఆ "కొత్త" సూత్రం, 'క్రమం నుండి క్రమం' పుట్టే సూత్రం నిజానికి భౌతికశాస్త్రంలో కొత్త విషయం ఏమీ కాదు. దానికి అంత ప్రాధాన్యత ఇవ్వడం కూడా అనవసరం అన్నట్టు మాట్లాడతాడు ప్లాంక్. వీటన్నిటిబట్టి చూస్తే జీవనవ్యవహారాలని అర్థం చేసుకోడానికి ఒక శుద్ధ యంత్రాంగం మీద, ఒక రకమైన

'గడియార చలనం' మీద ఆధారపడవలసి వస్తుందని అనిపిస్తుంది. అయితే ఇంతవరకు మనం వాదించిన తీరుకి, ఈ సిద్ధాంతానికి మధ్య పూర్తి వ్యతిరేకత ఉన్నట్టు కనిపిస్తుంది.

అయితే లోతుగా చూస్తే రెండిటి మధ్య వ్యతిరేకత లేదని, రెండూ అవసరమేనని అర్థం చేసుకోగలుగుతాము. ఆ సమన్వయం ఏమిటో ముందు ముందు చూస్తాము.

67. గడియార చలనం

ఇప్పుడు గడియార చలనాన్ని కచ్చితంగా విశ్లేషిద్దాం. అది పూర్తిగా యాంత్రికమైన చలనం కాదు. ఎందుకంటే పూర్తిగా యాంత్రికమైన చలనంలో స్ప్రింగు అక్కర్లేదు. 'కీ' ఇవ్వవలసిన పని ఉండదు. ఒకసారి మొదలుపెడితే అది చిరంతనంగా పని చేస్తూ పోతుంది. స్ప్రింగు లేని మామూలు గడియారం అయితే అందులోని లోలకం కొన్నిసార్లు కొట్టుకోగానే ఆగిపోతుంది. ఎందుకంటే అందులోని యాంత్రికమైన గతిశక్తి క్రమంగా ఉష్ణశక్తిగా మారిపోతుంది. ఈ మార్పిడి చాలా సంక్లిష్టమైన పరమాణు ప్రక్రియ. ఈ రకమైన భౌతిక దృష్టితో గడియార చలనాన్ని చూసే భౌతిక శాస్త్రవేత్త ఆ ప్రక్రియ వ్యతిరేక దిశలో జరగలేదని అర్థం చేసుకుంటాడు. అంటే స్ప్రింగు లేని గడియారం దాని లోని చక్రాల నుండి, పరిసరాల నుండి ఉష్ణశక్తిని తీసుకుని, దాన్ని గతిశక్తిగా మార్చి, అప్రయత్నంగా కదలగలగడం అన్నమాట. ఈ సందర్భంలో గడియారంలో జరిగే ప్రక్రియని (గతిశక్తి ఉష్ణశక్తిగా మారే ప్రక్రియని) తీవ్రమైన బ్రౌనియన్ చలనంగా భౌతికశాస్త్రవేత్త అభివర్ణిస్తాడు. అంతకు ముందు అధ్యాయం 2 లో సునిశితమైన torsional balance (ఎలెక్ట్రో మీటర్ లోను, గాల్వనోమీటర్ లోను ఉండేది) విషయంలో ఇలాంటిది సర్వసామాన్యంగా జరుగుతుందని గుర్తించాం. అలాంటి మార్పు గడియారంలో కూడా జరుగుతుంది కాని, అది జరిగే అవకాశం మరింత తక్కువ. కాబట్టి గడియారం యొక్క చలనం యాంత్రిక చలానికి చెందినదా, గణాంక

చలనానికి చెందినదా అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం చూసే దృక్పథాన్ని బట్టి ఉంటుంది. దాన్నొక యాంత్రిక చర్యగా తలపోస్తున్నప్పుడు మన దృష్టి దాని క్రమబద్ధమైన చలనం మీద ఉంది. గడియారంలో బలహీనమైన స్ప్రింగ్ ఉన్నా అది ఉష్ణ చలనాల ఆటుపోట్లని అధిగమిస్తుంది గనుక ఆ ఉష్ణచలనాలని మనం నిర్లక్ష్యం చెయ్యొచ్చు. కాని అదే సమయంలో మనం గుర్తుంచుకోవలసినది ఏమిటంటే స్ప్రింగు లేకపోతే, ఉష్ణచలనాలదే పైచేయి కావడం వల్ల, రాపిడి చేత గడియరం నెమ్మదిస్తుంది గనుక, ఈ ప్రక్రియని గణాంక ప్రక్రియగా మాత్రమే అర్థం చేసుకోడానికి వీలవుతుంది. ఆచరణాత్మక దృష్టితో చూసినప్పుడు, గడియారంలో రాపిడి వల్ల పుట్టే ఉష్ణ ప్రభావాలు ఎంత స్వల్పంగా ఉన్నప్పటికీ, వాటిని నిర్లక్ష్యం చెయ్యని రెండవ దృక్పథం మరింత ప్రగాఢమైనదని, మౌలికమైనదని అనడంలో సందేహం లేదు. ఎందుకంటే స్ప్రింగు వల్ల కలిగే ప్రోద్బలం, గడియార చలనం యొక్క గణాంక తత్వాన్ని మార్చేస్తుందని పొరబడకూడదు. గడియార చలనాన్ని నిజమైన భౌతిక దృష్టితో చూసినప్పుడు మరో అవకాశం కూడా కనిపిస్తుంది - క్రమంగా కదులుతున్న గడియారంలోని చలనం ఉన్నట్లుండి వెనక్కు కదలడం మొదలెట్టి, దాని పరిసరాల నుండి ఉష్ణశక్తిని లోనికి తీసుకుంటూ, కీ ఇవ్వకుండానే దానిలోని స్ప్రింగు దానికదే బిగుసుకోవడం! ఈ పరిణామం ఇంచుమించు అసంభవం అని ప్రత్యేకంగా చెప్పనక్కర్లేదు. అదే జరిగితే, గడీయారం స్థిరమైన ప్రోద్బలం వల్ల క్రమంగా కదలకుండా, బ్రౌనియన్ చలనాల పూనకం పట్టినట్టు సంచనంగా కదిలిపోతూ ఉన్నట్టు అవుతుంది! అది జరిగే పని కాదు.

68. గడియార చలనం కూడా గణాంక చలనమే

ఇంతవరకు మనం పరిశీలించిన సరళమైన, సర్వసామాన్యమైన సందర్భం నిజానికి ఎన్నో ఇతర సందర్భాలకి ప్రతిరూపం అని గుర్తించొచ్చు. ఆ సందర్భాలలో మనకి కనిపించే వ్యవస్థలన్నీ కూడా అణుస్థాయిలో జరిగే గణాంక ధర్మాలని అధిగమించి పని చేస్తున్నట్టు అనిపిస్తుంది. నిజమైన భౌతిక గడియారాలు (ఊహా గడియారాలకి భిన్నంగా) ఆదర్శవంతమైన 'గడియార చలనాలకి' తార్కాణాలు కావు. ఎందుకంటే ఊహాగడియారాలలో యాదృచ్ఛిక ఆటుపోట్ల ప్రభావాలు ఇంచుమించు ఉండవు, గడియారం అనుకోకుండా దెబ్బతిని ఆగిపోయే అవకాశం కూడా చాలా తక్కువే. కాని అవన్నీ కూడా నేపథ్యంలో ఉంటాయి. నిర్వాతమైన శూన్యంలో జరిగే ఖగోళ వస్తువుల చలనాలలో కూడా రాపిడి వల్ల, ఉష్ణం వల్ల, torsional ప్రభావాల వల్ల జరిగే అనుత్క్రమణీయ (irreversible) చలనాలు ససేమిరా ఉండవని కావు. ఆ కారణం చేతనే తరంగ ప్రభావం (tidal effect) వల్ల భూమి యొక్క ఆత్మభ్రమణం క్రమంగా నెమ్మదిస్తుంది. ఆ కారణం చేతనే చందమామ క్రమంగా భూమి నుండి దూరం అవుతూ ఉంటాడు. భూమి మీద హిమధృవాలే లేకపోతే, భూగర్భ పదార్థంలో కదలికలే లేకపోతే, ఒక స్టీలు గుండులా భూమి కఠినంగా, ధృవంగా (rigid) ఉన్నట్లయితే, ఈ తరంగ ప్రభావాలేవీ జరగవు.

ఏదేమైనా 'భౌతిక గడియార చలనాలు' 'క్రమం – నుండి – క్రమం ' కోవకి చెందిన లక్షణాలని ప్రదర్శిస్తాయనడంలో సందేహం లేదు. జీవరాశులలో ఇలాంటి చలనాలే భౌతికశాస్త్రవేత్త దృష్టిని, ఉత్సాహాన్ని ఆకట్టుకుంటాయి. ఈ రెండు సందర్భాలకి మధ్య ఏదో సామాన్య లక్షణం ఉండొచ్చు. ఆ సామాన్య లక్షణం ఏమిటి అన్నది ఇంకా శోధించవలసి వుంది. గడియార చలనానికి, జీవ చలనాలకి మధ్య సామాన్య లక్షణాలు ఉన్నా, తేడా కూడా ఉంది కనుక, ఆ తేడా ఎక్కడ వస్తోందో అర్థం చేసుకుంటే, జీవవ్యవస్థల యొక్క అత్యంత ప్రగాఢమైన రహస్యాన్ని తెలుసుకోగలుగుతాము.

69. నెర్న్ స్ట్ సిద్ధాంతం

ఏదైనా భౌతిక వ్యవస్థ యాంత్రిక ధర్మాలని (ప్లాంక్ పరిభాషలో), అంటే 'గడియార చలనాలని' ఎప్పుడు ప్రదర్శిస్తుంది? క్వాంటం సిద్ధాంతంలో ఈ ప్రశ్నకి చాలా క్లుప్తమైన సమాధానం వుంది – నిరపేక్ష సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద. సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద అణుచలనాల గందరగోళం సద్దుమణుగుతుంది. భౌతిక సంఘటనల మీద వాటికి ఇక ప్రభావం ఉండదు. ఆ వాస్తవాన్ని మొదట కనుక్కున్నది సిద్ధాంతం కాదు. గొప్ప వ్యాప్తి గల ఉష్ణోగ్రతల వద్ద రసాయన చలనాలని శోధించి, ఆ ప్రయోగ ఫలితాలని సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్దకి పొడిగించినప్పుడు (extrapolate) ఆ వాస్తవం బయటపడింది. సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్దకి ఇతర ఉష్ణోగ్రతల వద్ద కలిగిన ప్రయోగ ఫలితాలని ఎందుకు 'పొడిగించవలసి' వచ్చిందంటే, సున్నా ఉష్ణోగ్రతని చేరుకోవడం సంభవం కాదు. వాల్టర్ నెర్న్స్ట్ ప్రతిపాదించిన "ఉష్ణ సిద్ధాంతం" లోని సారాంశం ఇదే. దీన్నే కొన్ని సార్లు "ఉష్ణగతిశాస్త్రపు మూడవ నియమం" అని మరింత అట్టహాసంగా పిలుస్తారు. (ఆ నియమాలలో మొదటిది 'శక్తి నిత్యత్వ నియమం', రెండవది 'ఎంట్రోపీ నియమం'). నెర్న్స్ట్ ప్రయోగాత్మకంగా ప్రతిపాదించిన నియమాన్ని, క్వాంటం సిద్ధాంతం సహేతుకంగా వర్ణిస్తుంది. అంతేకాక యాంత్రిక లక్షణాలని ప్రదర్శించాలంటే ఒక వ్యవస్థ నిరపేక్ష సున్నాకి ఎంత దగ్గరగా జరగాలో కూడా ఆ సిద్ధాంతం అంచనా వేస్తుంది. ఒక ప్రత్యేక సందర్భంలో, ఆచరణాత్మక దృష్టిలో సున్నా ఉష్ణోగ్రత అని చెప్పుకోదగ్గ ఉష్ణోగ్రత ఎంత? అన్న ప్రశ్నకి సమాధానం చెప్తుంది. అయితే ప్రతీ సందర్భం లోను ఆ ఉష్ణోగ్రత చాలా తక్కువ ఉష్ణోగ్రత కావాలని అపోహ పడనక్కర్లేదు. అసలు గది

ఉష్ణోగ్రత (room temperature) వద్ద కూడా ఎన్నో రసాయన చర్యలలో ఎంట్రొపీ చాలా ఆశ్చర్యకరమైన ప్రభావాలని ప్రదర్శిస్తుంది అన్న ఆవిష్కరణే నెర్న్స్ట్ సిద్ధాంతానికి పునాది అయ్యింది. (అణుస్థాయిలో కల్లోలానికి కొలమానమే ఎంట్రొపీ అని ఇక్కడ ఒక సారి గుర్తుంచుకోవాలి.)

70. లోలకపు గడియారం సున్నా ఉష్ణోగ్రత వద్ద పని చేస్తున్నట్టే లెక్క

మరి లోలకపు గడియారం మాటేమిటి? లోలకపు గడియారం దృష్టితో చూస్తే గది ఉష్ణోగ్రత ఒక విధంగా సున్నా ఉష్ణోగ్రతతో సరిసమానం. దాన్ని బాగా చల్లబరిచినా పని చేస్తూనే ఉంటుంది (అయితే అందులోని చమురు అంతా తీసేయడం మర్చిపోకూడదు!) కాని గది ఉష్ణోగ్రత కన్నా బాగా హెచ్చు ఉష్ణోగ్రతల వద్దకి తీసుకుపోతే పని చెయ్యడం మానేస్తుంది. ఎందుకంటే అధిక ఉష్ణోగ్రతల వద్ద అది కరిగిపోతుంది కనుక!

71. గడియారానికి ప్రాణికి మధ్య పోలిక

వేడి చేస్తే కరిగిపోతాయి కనుక గడియారాలు పని చెయ్యవు అనడం అత్యల్పమైన విషయంలా గోచరించవచ్చు. కాని ఆ విషయం ప్రస్తుత సమస్యలోని కీలకమైన అంశాన్ని తేటతెల్లం చేస్తుంది. గడియారాలు “యాంత్రికంగా” పని చెయ్యడానికి కారణం అవి ఘనపదార్థాల చేత నిర్మితం కావడమే. లండన్ – హైదర్ బలాల (London – Heider forces) ప్రభావం వల్ల ఘనపదార్థాల ఆకారం కుదురుగా నిలుస్తుంది. సాధారణ ఉష్ణోగ్రత

వద్ద గందరగోళ స్థితి దిశగా ముందుకు తోసే ఉష్ణచలనాల ప్రభావాన్ని ఈ బలాలు అడ్డుకుంటాయి. ఇప్పుడు గడియారానికి, ప్రాణికి మధ్య పోలికని ఎత్తి చూపడానికి మరి కొంత వివరణ ఇవ్వవలసి ఉంటుంది. ప్రాణి కూడా కచ్చితమైన ఆవృత్తిని సాధించడం కోసం ఒక విధంగా ఘనపదార్థాన్నే వాడుతోంది – జీవకణాలలో అనువంశిక పదార్థంలా పని చేసే అనావర్తక స్ఫటిక వల్లనే జీవ ధాతువు ఉష్ణచలనాల కల్లోలపు బారిన పడకుండా రక్షింపబడుతోంది. అయితే ‘ క్రోమోసోమ్ తంతువులే జీవయంత్రాంగాన్ని కదిలించే అంతరంగ చక్రాలు’ అంటున్నానని నన్ను ఆడిపోసుకోకండి. ఆ పోలికని సమర్థించడానికి కొన్ని ప్రగాఢమైన భౌతికశాస్త్ర సిద్ధాంతాలు లేకపోలేదు. కాని రెండిటి మధ్య తేడాలు ఎత్తిచూపడం పెద్ద కష్టం కాదు. జీవయంత్రాంగం అపూర్వమైనది, అసమానమైనది అని వర్ణించడానికి పెద్దగా సంజాయిషీ అక్కర్లేదు.

ఆ తేడాలలో రెండు చాలా ప్రస్ఫుటమైన తేడాలు. 1) బహుళ కణ జీవులలో ‘అంతరంగ చక్రాల’ విస్తరణ కాస్త విచిత్రంగా ఉంటుంది. ఆ విషయాన్నే కాస్త కవితా ఫక్కీలో **పేజి మీద ప్రస్తావించాను. 2) అందులో ఏ ఒక్క అంతరంగ చక్రమూ మానవ నిర్మితం కాదు. పరమాత్మ మనకి అందించిన క్వాంటం యంత్రాంగానికి అది మచ్చుతునక, కలికితురాయి.

ఉత్తరోక్తి

నిర్దేశ్యకత – స్వేచ్ఛ

ఒక ప్రగాఢమైన సమస్య పట్ల ఒక శాస్త్రీయమైన దృక్పథాన్ని, విశ్లేషణని అందించడం కోసం ఇంతవరకు నేను పడ్డ శ్రమకి పారితోషకంగా, ఈ సిద్ధాంతాల యొక్క తాత్విక పర్యవసానాల విషయంలో కొంత వ్యాఖ్యానించే చొరవ తీసుకుంటున్నాను. ఈ పుస్తకంలో ఇంతవరకు ప్రదర్శించిన ఆధారాల ప్రకారం, జీవి యొక్క దేహంలో, దాని మనో వృత్తులకి అభివ్యక్త రూపాలుగా పరిగణించదగ్గ దేశకాల సంఘటనల సముదాయాన్ని తీసుకుంటే, అవన్నీ పూర్తిగా సునిర్దేశ్యం కాకపోయినా గణాంక పరంగా సునిర్దేశ్యం అని చెప్పుకోవచ్చు. ఈ సందర్భంలో భౌతికశాస్త్రవేత్తలకి నా మాటగా చెప్పదలచుకున్నది ఏమిటంటే (ఈ అభిప్రాయాన్ని కొంత మంది వ్యతిరేకించవచ్చు) క్వాంటం అనిర్దేశ్యకతకి పైన చెప్పుకున్న సంఘటనలలో చెప్పుకోదగ్గ ప్రభావమేమీ ఉండదు. అయితే అందుకు కొన్ని మినహాయింపులు లేకపోలేవు. మియాసిస్ వంటి కణ విభజన చర్యలలో గాని, ఎక్స్ రే ల వల్లనో, సహజంగానే జరిగే ఉత్పరివర్తనలలో గాని, క్వాంటం ప్రభావాల వల్ల వాటి యాదృచ్ఛికత మరింత తీవ్రం కావచ్చు. ఇలాంటి చర్యలలో క్వాంటం ప్రభావం తప్పనిసరిగా ఉంటుంది అన్న విషయానికి ఎన్నో ఆధారాలు కూడా ఉన్నాయి.

ఇప్పుడు ఒక వాదనని మీ ముందు ఉంచుతున్నాను. నేనున్నాను అనే స్ఫురణ, మనసు, ఆలోచనలు మొదలైన వన్నీ కేవలం యాంత్రికమైన భౌతిక చర్యల వల్ల

కలుగుతున్నాయి అనే భావనని, 'నేను కేవలం ఒక శుద్ధమైన యాంత్రిక చర్యని' అనే భావనని స్వీకరించడానికి కొంచెం ఇబ్బందికరంగానే ఉంటుంది. నాకే కాదు, నిష్పక్షపాతంగా ఆలోచించే ప్రతీ జీవశాస్త్రవేత్తకీ అలాగే అనిపిస్తుందేమో. ఆత్మపరిశీలన చేసుకున్నప్పుడు, మనలో మనకి స్ఫురించే స్వేచ్ఛకి ఈ యాంత్రికత విరుద్ధంగా కనిపిస్తుంది. ఆత్మగతమైన అనుభవాలు, అవి ఎంత వైవిధ్యం గలవి అయినా, వాటి మధ్య తార్కికమైన వైరుధ్యాలని ఎత్తి చూపడం కష్టం. కాబట్టి ఈ రెండు premises నుండి పరస్పర వైరుధ్యాలు లేని నిర్ణయాలకి రాగలమా?

1) నా శారీరక చర్యలన్నీ ప్రకృతి ధర్మాలని అనుసరించి నడిచే శుద్ధ యంత్రాంగంలో భాగాలు
2) కాని నిస్సందేహమైన ప్రత్యక్షానుభూతి నుండి నేనే వాటి చర్యలని శాసిస్తున్నానని నాకు తెలుసు. నా ఆజ్ఞలకి పర్యవసానాలు ఎలాంటివైనా వాటికి కారణం నేనే కనుక వాటికి పూర్తి బాధ్యత వహిస్తున్నాను.

ఈ రెండు వాస్తవాల ఆధారంగా మనం చెయ్యగల మొదటి నిష్కర్ష ఏమిటంటే, నేనే – అంటే 'నేను' అనే మాటని పలికి, 'నేను' అనే స్ఫురణను కలిగిన ప్రతీ సచేతన మనస్సుని ఇక్కడ తీసుకుంటున్నాను – ప్రకృతి ధర్మాలని అనుసరించి కదిలే పరమాణువుల చలనాన్ని శాసిస్తున్నాను.

ఇక సాంస్కృతిక నేపథ్యానికి వస్తే, కొన్ని సంస్కృతులలో ఇలాంటి భావాలకి పరిమితమైన అర్థాన్ని ఇవ్వడం జరుగుతున్నా, మరి కొన్ని సంస్కృతులలో మరింత గంభీరమైన, ధీరమైన అర్థాన్ని ఆపాదించడం కనిపిస్తుంది. క్రైస్తవ పరిభాషలో చెప్పాలంటే, ఒక మనిషి "కాబట్టి నేనే సర్వశక్తిమంతుడినైన దేవుణ్ణి" అనడం దైవనిందలా, వదరుబోతు తనంలా

తోచుతుంది. మతం యొక్క స్పందనని, దృక్పథాన్ని కాసేపు పక్కన పెడితే, పైన మనం చేసిన నిష్కర్ష దైవానికి, అమరత్వానికి అతి దగ్గరిగా రావడం కోసం జీవశాస్త్రవేత్తకి ఇస్తున్న అపురూపమైన అవకాశం అని చెప్పుకోవచ్చు. ఇలాంటి భావజాలం క్రైస్తవ సంస్కృతిలో కొత్త కావచ్చు గాని ఇతర సంస్కృతులలో కొత్త కాదు. నాకు తెలిసి ఇలాంటి భావజాలం ప్రాచీన సంస్కృతులలో 2,500 ఏళ్ల క్రితమే, లేకుంటే ఇంకా పూర్వమే వ్యక్తం చెయ్యబడింది. ఘనమైన ఉపనిషత్తులలో 'ఆత్మ = బ్రహ్మం' అనే ప్రకటన భారతీయ తత్వ చింతనకి పరాకాష్ట అయ్యింది. ఆ ప్రకటన దైవ నిందగా పరిగణించబడకపోగా, లోక వ్యవహారాల మీద, విశ్వధర్మాల మీద అత్యంత ప్రగాఢమైన, సునిశితమైన వ్యాఖ్యానంగా ప్రశంసించబడుతుంది. ఎన్నో శతాబ్దాలుగా వివిధ సంస్కృతులకి చెందిన అధ్యాత్మికులు, ఒకరి ఉనికి ఒకరికి తెలియకుండానే, ఒకరి అనుభవాలని ఒకరు నిర్ధారిస్తూ, తమ జీవితంలో మహోత్కృష్టమైన అనుభూతిని ఇలాంటి మాటల్లో ప్రకటించారు – DEUS FACTUS SUM (నేనే దేవుణ్ణయ్యాను).

షొపెన్ హోవర్ వంటి తాత్వికులు ఈ సత్యాన్ని తమ రచనల్లో అనేకరకాలుగా వ్యక్తం చేసినా పాశ్చాత్య భావజాలంలో ఈ భావన అపరిచితంగానే ఉండిపోయింది. ఒకరి కళ్లలో ఒకరు లోతుగా చూసుకుంటూ ఒకరితో ఒకరి మమేకం చెందే ప్రేమికులు ఆ సత్యాన్నే అనుభూతి చెందుతున్నారు. ఆ సందర్భంలో వారు అనుభవించేది కేవలం సారూప్యతో, సాన్నిహిత్యమో కాదు, అది శుద్ధమైన ఏకత్వం. కాని ఆ తరుణంలో వారి హృదయం బుద్ధిని జయిస్తుంది కనుక, వాళ్ల మనసులు ఇలాంటి తాత్విక చర్చలోకి దిగే స్థితిలో ఉండవు. ఆ దృష్టితో చూస్తే ప్రేమికులకి వేదాంతులకి పెద్దగా తేడా లేదు. ఈ భావజాలాన్ని విస్తరిస్తూ మరి కొంత వ్యాఖ్యానం చేస్తాను.

చైతన్యాన్ని ఎప్పుడూ ఏకవచనంలో తప్ప బహువచనంలో అనుభూతి చెందలేము. చిత్త చాంచల్యం కలిగి, చైతన్య విభజన జరిగిన స్థితిలో, ద్వంద్వ వ్యక్తిత్వం అనుభవమైన

పరిస్థితిలో, రెండు వ్యక్తిత్వాలు మారి మారి వస్తుంటాయి గాని, రెండు వ్యక్తిత్వాలు ఏకకాలంలో అనుభవం కావు. కలలలో మనం ఎన్నో పాత్రలని ఒకే సమయంలో పోషిస్తుంటాము. అయితే ఆ పాత్రలు పోషించే కార్యక్రమం గందరగోళంగా ఉండదు. ఒక తరుణంలో మనం ఏదో ఒక పాత్రనే పోషిస్తాము. ఆ పాత్ర ద్వార మనం పలుకుతాము, ప్రవరిస్తాము. మన మాటలకి చేష్టలకి అవతలి పాత్ర స్పందన కోసం ఎదురుచూస్తుంటాము గాని, ఆ స్పందనని శాసించేది కూడా మనమే నన్న స్పృహ ఆ క్షణం మనకి ఉండదు. మరి (ఉపనిషత్కర్తలు అంత ధృవంగా వ్యతిరేకించిన) అనేకత్వపు భావన ఎలా జనించింది? పదార్థంలో ఒక పరిమితమైన భాగం యొక్క – అంటే దేహం యొక్క - భౌతిక స్థితిలో చైతన్యం ముడివడి ఉంటుంది. (బాల్య, కౌమార, యవ్వన, వార్ధక్య స్థితిలోనో, జ్వరం వచ్చినప్పుడో, మత్తు మందు ప్రభావానికి గురైనప్పుడో, మెదడు దెబ్బ తిన్నప్పుడో మనసులో కలిగే మార్పులని గమనించండి.) మరి అలాంటి శరీరాలు అనేకాలు, అధిక సంఖ్యలో ఉన్నాయి. కాబట్టి చైతన్యాలు గాని, మనసులు గాని అనేకాలు అని ప్రతిపాదించడం సహజంగా తోచుతుంది. అమాయకులు, పామరులే కాక, అధిక సంఖ్యలో పాశ్చాత్య తాత్వికులు కూడా ఈ విషయాన్ని సమ్మతించినట్టు గోచరిస్తోంది. ఆ వాస్తవాన్ని స్వీకరిస్తే ఇంచుమించు వెనువెంటనే 'ఆత్మ' అన్న భావనని యదార్థంగా స్వీకరించవలసి ఉంటుంది. శరీరాలు ఎన్ని ఉన్నాయో అన్ని ఆత్మలు ఉన్నాయని తలపోయవలసి ఉంటుంది. ఇప్పుడు మరో కీలకమైన ప్రశ్న ఏర్పడుతుంది. శరీరానికి మల్లె ఆత్మ కూడా మర్త్యమైనదా? లేక ఆత్మ అమరమైనదా, శరీరంతో సంబంధం లేకుండా స్థిరంగా నిలవగలదా? మొదటి అవకాశం అప్రియంగా తోచుతుంది. శరీరం లాగానే ఆత్మ కూడా మర్త్యమైనదే అయితే ఇక శరీరానికి వేరుగా ఆత్మ అనేది అనవసరం అనిపిస్తుంది. ఇక రెండవ అవకాశాన్నే సమర్థిస్తే, ఏ వాస్తవం మీద అయితే అనేకత్వపు ప్రతిపాదన నిలిచిందో ఆ వాస్తవాన్ని పూర్తిగా విస్మరించినట్టు అవుతుంది.

ఇంకా విడ్డూరమైన, హాస్యాస్పదమైన ప్రశ్నలు కూడా వేశారు. జంతువులకి కూడా ఆత్మలు ఉంటాయా? మగవారికేనా లేక స్త్రీలకి కూడా ఆత్మలు ఉంటాయా? ఇలాంటి చింతనా ధోరణులు చూస్తున్నప్పుడు పాశ్చాత్య తత్వచింతనకి పట్టుకొమ్మ అనుకోదగ్గ అనేకత్వపు ప్రతిపాదన లోని నిజానిజాలని సందేహించవలసి వస్తుంది. ఆత్మలు అనేకాలు అనే భావనని సమర్ధించే ప్రయత్నంలో, ఆ భావనలోని దోషాన్ని 'సవరించడం' కోసం ఆత్మలు కూడా మర్త్యమైనవేనని నమ్ముతూ, శరీరాలతో పాటు అవి కూడా నాశనమైపోతాయని ప్రకటించినప్పుడు ఇంకా పెద్ద పొరబాటు చేస్తున్నామా? ఈ సమస్య నుండి బయటపడడానికి ఒకటే మార్గం కనిపిస్తోంది. చైతన్యం విషయంలో మన స్వానుభవాన్ని నమ్ముకుంటూ, చైతన్యానికి ఎప్పుడూ ఏకవచనమే గాని, బహువచనం వర్తించదనే భావనని స్వీకరించాలి. అనేకత్వంగా కనిపించేది కూడా ఒకే తత్వం యొక్క అనేక ముఖాలని, ఒక విధమైన దృష్టిలోపం చేత (భారతీయ పరిభాషలో చెప్పాలంటే 'మాయ' చేత) అలా తోచుతుందని అనుకోవాలి. అద్దాల మందిరంలో ఒకే వ్యక్తికి అనేక ప్రతిబింబాలు కనిపించి కలవరపెట్టడం లాంటిదే ఇదీను. వేరు వేరు లోయల నుండి చూసినప్పుడు గౌరీశంకర్ పర్వతంగాను, ఎవరెస్ట్ పర్వతంగాను వేరు వేరుగా కనిపించేది నిజానికి ఒకే పర్వతం అని తెలుసుకోవడం లాంటిదే ఇదీను. అయితే అలాంటి ప్రాథమికమైన, సరళమైన అవగాహనకి అడ్డుపడుతూ ఎన్నో కాకమ్మ కథలు అల్లారు.

ఉదాహరణకి నా కిటికీ బయట ఒక చెట్టు ఉన్నప్పటికీ నేను నిజంగా దాన్ని చూడడం లేదట! ఏదో కుటిల పన్నాగం చేత (అది ఎలా జరుగుతుంది అన్న విషయంలో కొన్ని మొదటి మెట్లకి మించి మనకి ఏమీ తెలియదు) ఆ నిజం చెట్టు దాని యొక్క చిత్రాన్ని మాత్రం నా భౌతిక చేతనలోకి ప్రవేశపెడుతుందట! ఆ చిత్రాన్నే నేను చూడడం జరుగుతుంది. మీరు నా పక్కన నిలుచుని అదే చెట్టుని చూస్తున్నట్లయితే, ఆ చెట్టు మీ

ఆత్మలో కూడా అదే చిత్రాన్ని ప్రవేశపెడుతుంది. నేను నా చెట్టుని చూస్తుంటే, మీరు మీ చెట్టుని (ఇది చాలా వరకు నా చెట్టునే పోలి ఉంటుంది) చూస్తుంటారు. కాని నిజంగా ఆ చెట్టు ఎలా ఉంది అన్నది ఇద్దరికీ తెలియదు. ఈ రకమైన తాత్విక అభూతకల్పనలు అన్నిటికీ కారణం కాంట్ మహాశయుడు.

చైతన్యం అనన్యం అనే భావన స్థానంలో మరో కొత్త అసహజమైన భావక్రమం వచ్చి చేరింది. చెట్టు ఒక్కటే ఉన్నా దానికి శత కోటి చిత్రాలు ఉంటాయి అనే కాకమ్మ కథ ఎక్కణ్ణుంచో ఊడిపడింది.

మన అనుభవాల, జ్ఞాపకాపల సమస్తాన్ని తీసుకుంటే అవన్నీ ఒక అఖిల ఘన రాశిగా గోచరిస్తాయని మనందరికీ కలిగే ప్రాథమిక అనుభూతి అనితరంగా మనకే సొంతం అని, అవతలి వ్యక్తి యొక్క అనుభవాల, జ్ఞాపకాల సముదాయానికి అది భిన్నమనని మనకి తెలుసు. కొంచెం లోతుగా ఆత్మపరిశీలన చేసుకుంటే ‘నేను’ అనే భూమిక మీద ఆ అనుభవాలు, జ్ఞాపకాల సముదాయం పేరుకుంటూ ఉంటుంది. మీరు ఒక అపరిచిత ప్రాంతానికి ప్రయాణించి, మీ వెనకటి మిత్రులు అందరినీ మరచిపోతారు. అక్కడ కొత్త మిత్రులు ఏర్పడతారు. వారితో ఇప్పుడు కొత్తగా కలిగే అనుభవాలని గాఢంగా పంచుకుంటారు. ఈ కొత్త జీవితాన్ని జీవిస్తున్న సమయంలో మీ పాత జీవన జ్ఞాపకాలు క్రమంగా విస్మరించబడుతున్నాయి అన్న సంగతి అప్రధానంగా అనిపిస్తుంది. “నా యవ్వనంలో…” అని మీరు గతాన్ని నెమరువేసుకుంటున్నప్పుడు, మీ గురించి మీరు third person లో ప్రస్తావిస్తుంటారు. మీ గతానికి చెందిన “నేను”తో కన్నా, ఇప్పుడు మీరు చదివే నవలలోని కథానాయకుడితో మరింత గాఢంగా మమేకం కావచ్చు కూడా. ఈ నడిమికాలంలో మీ జీవనవాహినిలో ఎక్కడా విచ్ఛిన్నత ఏర్పడలేదు. మరణం సంభవించలేదు. ఎవడైనా సమర్థుడైన హిప్నాటిస్టు మీ గతపు స్మృతులు అన్నిటినీ చెరిపేసినా కూడా, అతడు మిమ్మల్ని చంపినట్టు కాదు. వ్యక్తిగతమైన అస్తిత్వంలో మనం

బాధపడాల్సిన తరుగదల ఏమీ జరగలేదు. అలాంటి తరుగుదల అసలు ఎన్నటికీ జరగదు కూడా.